

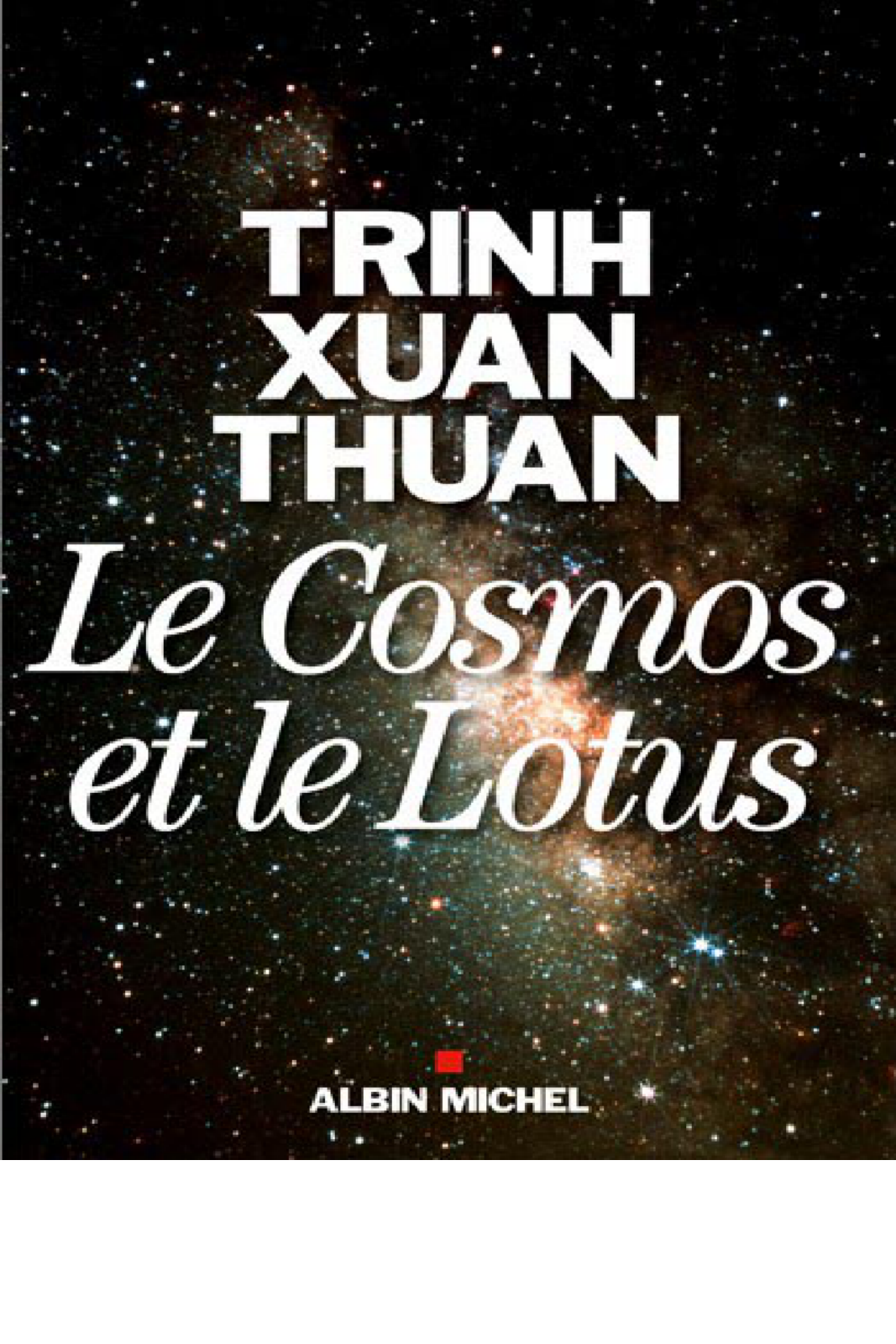
A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns, rendered in a light gray color, framing the entire page.

Le cosmos et le Lotus

Trinh Xuan Thuan

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.com



**TRINH
XUAN
THUAN**

*Le Cosmos
et le Lotus*


ALBIN MICHEL

LE COSMOS ET LE LOTUS

Trinh Xuan Thuan

Confessions d'un astrophysicien

*À ma famille, mes maîtres et à tous
ceux et celles qui m'ont guidé et soutenu
dans ma voie.*

I.

Ce que je suis : à la confluence de trois cultures.

Une éducation à la française

Je suis le produit de trois cultures. Né vietnamien, éduqué à la française, j'ai acquis toute ma science aux États-Unis. J'y vis maintenant, et c'est là que j'enseigne et mène mes travaux. Ce que je suis et ce que je cherche résultent, comme toujours, d'un mélange d'inné et d'acquis. Les « fées » m'ont doté de certaines prédispositions – je suis le produit de mes gènes –, mais ma ligne de vie a aussi été tracée par les aléas et les vicissitudes de l'histoire de mon pays. Je suis venu au monde dans une famille aisée de lettrés en 1948 à Hanoi, capitale administrative du Tonkin. L'occupation japonaise du Vietnam prenait fin, et les Français s'efforçaient de reprendre la main sur leur ancienne colonie, divisée administrativement en trois provinces, le Tonkin au nord, l'Annam au centre et la Cochinchine au sud. La guerre d'indépendance menée par Ho Chi Minh et ses compagnons contre les colonialistes français faisait rage. Trop jeune alors, je n'ai pas de souvenirs précis de cette époque, mais j'étais conscient d'une grande effervescence et d'événements graves qui se déroulaient autour de moi.

J'ai pourtant en mémoire de manière vivace cette année fatidique de 1954 où mes parents choisirent de tout abandonner – famille, emploi, maison et autres biens – pour s'installer au sud. Cette décision fut la conséquence de la débâcle militaire des forces françaises face au Viet-minh à Dien Bien Phu, le 8 mai, et de la scission du Vietnam au niveau du 17^e parallèle. À Hanoi, si les classes les plus démunies restaient dans l'expectative quant à l'arrivée au pouvoir de Ho Chi Minh, la débandade soudaine des Français et la partition du pays plongèrent les familles aisées dans une profonde anxiété. Mon père, qui était haut fonctionnaire dans l'ancien gouvernement, n'avait pas le choix : s'il restait au nord, il serait certainement persécuté sinon exécuté par les communistes. Il fallait faire vite car le Viet-minh allait prendre le contrôle de Hanoi en octobre. Mes parents remplirent donc tant bien que mal quelques valises, et, un matin de juillet, nous prîmes l'avion, le cœur lourd, car nous ne savions pas si nous aurions un jour l'occasion de revoir Hanoi, notre demeure et nos oncles, tantes et cousins laissés derrière nous.

Ma famille ne fut pas la seule à participer à ce grand exode vers le sud : en tout, près d'un million de Nord-Vietnamiens firent le voyage. La division du pays entraîna l'éclatement des familles, tout au moins de celles qui appartenaient à la bourgeoisie : certains décidèrent de

rester au nord par sympathie pour Ho Chi Minh et sa lutte anticoloniale, d'autres, comme mon père, partirent au sud, et d'autres encore, comme plusieurs de mes oncles, anciens fonctionnaires de l'administration coloniale française, décidèrent de rejoindre la France. À vrai dire, cette déchirure des familles avait déjà commencé en 1945 quand le Viet-minh avait lancé sa guerre anticoloniale contre la France : certains fils de familles aisées, séduits par la philosophie égalitaire communiste, mais aussi par idéalisme et nationalisme, avaient décidé d'abandonner leur milieu bourgeois et de rejoindre Ho Chi Minh et ses forces révolutionnaires afin de chasser le colonisateur ; d'autres, au sein de la même famille, étaient fermement anticomunistes. Ce qui était à l'origine de disputes et de drames familiaux sans fin. L'histoire se répétera vingt et un ans plus tard, en 1975, lors de la conquête de Saigon par les troupes nord-vietnamiennes et de la réunification du Vietnam. Les vicissitudes de mon pays ont fait que nombre de familles vietnamiennes ont maintenant leurs membres dispersés un peu partout sur le globe. La mienne n'échappe pas à cette règle : ma mère et l'une de mes sœurs habitent Paris, je vis aux Etats-Unis, de même que deux de mes sœurs, alors qu'une quatrième réside en Suisse.

Au Sud-Vietnam, notre famille s'installa à Dalat, station balnéaire de province des hauts plateaux que, du temps colonial, les Français fréquentaient durant les mois de chaleur étouffante de la mousson, afin d'échapper à la moiteur ambiante et trouver un peu de fraîcheur. Dalat, découverte dans les années 1920 par le Français Alexandre Yersin célèbre pour avoir isolé le bacille de la peste –, était, pendant toute l'année, une sorte de havre de douceur au climat tempéré au milieu de la chaleur tropicale. Mon père, titulaire d'un diplôme de droit de l'université de Hanoi, fut nommé magistrat à la cour locale.

Très tôt, mes parents, suivant en cela bon nombre de familles aisées de la bourgeoisie vietnamienne, décidèrent de me mettre à l'école française, qui avait la réputation de dispenser une éducation rigoureuse et un enseignement de qualité. J'entrai donc au lycée Yersin à Dalat. Quand mon père fut promu juge à la cour d'appel de Saigon en 1956 et muté dans la capitale sud-vietnamienne, je continuai mes études primaires au lycée Saint-Exupéry, puis secondaires au lycée Jean-Jacques-Rousseau, l'ancien collègue Chasseloup-Laubat. Mes sœurs aussi reçurent une éducation française. Les Français, imbus de la « mission civilisatrice de la France » et du rayonnement de la culture française, maintinrent des lycées à Saigon jusqu'à la fin des années 1960. J'appartiens ainsi à la dernière génération d'intellectuels vietnamiens formés à la française.

Toute mon éducation primaire et secondaire, de l'école maternelle au baccalauréat, s'est donc déroulée en français. Durant mon

adolescence, je n'ai reçu que des bribes de culture vietnamienne, distribuées çà et là pendant les quelques heures de cours hebdomadaires où nous apprenions l'histoire et la littérature de notre pays. J'ai grandi dans un contexte postcolonial. Mes professeurs, pour la plupart des fonctionnaires de l'Éducation nationale mandatés par la France, n'avaient plus pour mission de faire de moi un « petit Français des colonies ». Je ne faisais plus partie de ces générations d'intellectuels vietnamiens qui, avant moi, devaient ânonner, dès les bancs de l'école primaire, lors des cours d'histoire, cette phrase absurde et ridicule : « Nos ancêtres les Gaulois... » D'autant plus que, dans mon cas, l'enseignement français qui m'était dispensé ne s'enracinait pas dans un terrain totalement vierge.

Héritier du confucianisme

J'étais profondément imprégné de culture confucéenne, non parce qu'elle me fut inculquée à l'école, mais par osmose avec la culture vietnamienne et par mon environnement familial. Car, avant tout, le confucianisme est une philosophie de vie, non pas enseignée mais vécue. Les expressions et citations d'inspiration confucéenne abondent dans le langage de tous les jours comme dans la littérature vietnamienne. Les enseignements de la tradition confucéenne nous étaient rappelés sans cesse par des inscriptions au fronton des monuments.

Depuis ma plus tendre enfance, j'étais conscient de descendre d'une longue lignée de confucéens. Bien que je n'aie pas appris ni étudié les textes de cette tradition en détail à l'école, les hommes de ma famille – mes arrière-grands-pères, mes grands-pères, mon père – étaient les uns des mandarins, les autres des lettrés, tous profondément imprégnés de confucianisme. Pendant quelque dix siècles, la pensée confucéenne, née en Chine au V^e siècle avant notre ère, importée lors de la période de domination chinoise qui dura jusqu'au X^e siècle, fut en effet le support intellectuel et idéologique du Vietnam constituant la doctrine officielle des concours de mandarinat organisés dans le Vietnam d'antan sous la haute autorité de l'empereur lui-même. De l'an 1075 jusqu'au début du XX^e siècle, le dernier concours ayant eu lieu en 1919, les jeunes Vietnamiens les plus doués devaient ainsi non seulement dissenter sur la littérature, la morale et la politique, mais aussi composer un poème et rédiger des textes administratifs. Ouverts à tous (sauf aux comédiens et aux femmes), les concours n'avaient lieu qu'une fois tous les trois ans. La première étape consistait à passer les concours régionaux. Seuls ceux qui les avaient réussis pouvaient se présenter aux concours impériaux organisés dans la capitale. Les candidats reçus décrochaient le titre de *tien si*, l'équivalent du doctorat français. Il y avait chaque fois très peu d'élus, à peine quelques dizaines parmi les milliers de candidats. Pendant les dix siècles que dura le concours, un peu plus de dix mille « doctorats » seulement furent décernés.

Les lauréats (à la fois des concours régionaux et impériaux) étaient ensuite recrutés comme mandarins, c'est-à-dire comme fonctionnaires chargés de l'administration du royaume et de l'exécution de la volonté impériale. Ainsi était sélectionnée la crème des jeunes Vietnamiens

pour aider à gérer le pays, et cela sans aucune distinction d'origine ou de classe sociale : en ce sens, c'était une institution « démocratique » avant l'heure. À première vue, le concours accomplissait la même fonction que l'École nationale d'administration française, mais y réussir dépassait de loin en prestige l'admission dans une grande école ou la réussite universitaire. L'heureux lauréat, promu socialement, accédait au cercle très fermé des représentants de Sa Majesté impériale. C'est pourquoi, des siècles durant, travailler pour devenir mandarin était le rêve suprême de tout jeune adolescent vietnamien, tandis que celui de toute jeune fille de bonne famille était d'épouser un lettré dans l'espoir qu'il accède un jour au mandarinat. Enfant, j'écoutais mon grand-père maternel et mon père parler avec nostalgie de cette période révolue.

Ces concours expliquent aussi le respect que les Vietnamiens ont pour les études. Celles-ci étaient tant à l'honneur, et l'obsession des concours mandarinaux si répandue que les écoles proliféraient partout. Les études étaient considérées comme la voie royale pour améliorer son statut social et réussir sa vie. Chaque famille, si pauvre fut-elle, faisait les sacrifices nécessaires pour envoyer ses enfants à l'école. Ce respect pour l'éducation fait partie intégrante de la culture vietnamienne. Il a perduré au Vietnam longtemps après que le système du mandarinat eut disparu, et malgré les guerres française et américaine. Les expatriés vietnamiens ont conservé cette révérence dans les pays où ils se sont installés. Que ce soit aux États-Unis ou en France, même si la première génération d'immigrés (les *boat-people* par exemple) a souvent dû faire face à des conditions matérielles difficiles, ils sont prêts à tous les sacrifices pour envoyer leurs enfants dans les meilleures écoles et universités. Ceux-ci sortent bardés de diplômes, ce qui leur permet de bien s'intégrer professionnellement et socialement dans leur pays d'adoption.

Au-delà du respect pour l'éducation, le confucianisme m'a aussi profondément marqué par sa notion de *ren*, qui peut être traduite par « plénitude d'humanité » ou « amour de l'humain » et qui constitue la pierre angulaire de l'enseignement confucéen. Confucius (551-479 av. J.C.) est le premier penseur en Chine à placer clairement l'homme au centre de sa réflexion. Humaniste, au plein sens de ce terme, il ramène la philosophie sur terre, laissant les dieux à leurs lointains empyrées. Il exprime ce souci de l'humain ainsi : « Parler de mystères, opérer des

miracles pour laisser un nom à la postérité, je ne le fais point... Les dieux, il faut les vénérer, certes, mais s'en tenir à distance... Le *tao* (la voie) n'est pas en dehors de l'homme ; celui qui crée une voie hors de l'homme ne saurait en faire une voie véritable. L'homme de bien (*junzi*) se contente de transformer l'homme, il s'en tient là {1} »

Vertu suprême, le *ren* vaut davantage que les plus grands honneurs. Jamais acquis d'emblée, il s'obtient par de constants efforts. Pour le maître, seul l'amour de l'humanité peut conduire à devenir un homme de bien. Celui-ci doit montrer de la compassion et de la bonté envers autrui, « ne jamais faire à autrui ce qu'on ne voudrait pas que l'on fasse à soi-même », équivalent du fameux précepte judéo-chrétien. Il doit aussi être instruit, ce qui lui permet d'adopter une attitude juste dans toutes les circonstances de la vie, et courageux afin de remplir ses obligations. Pour cela, il doit agir selon le *li* (le rite). Ce mot a une triple signification, religieuse, sociale et morale, indiquant aussi bien le cérémonial des cultes que les règles à observer dans les rapports sociaux. Chacun se doit de montrer une bonne tenue, par respect non seulement pour les autres, mais aussi pour soi-même. Chaque parole, chaque geste de l'homme de bien doit s'accomplir selon des rites. Il y a des règles de conduite précises à suivre dans tout rapport social : pour se comporter envers ses supérieurs et inférieurs (entre roi et sujet, ou entre administrateur et administré par exemple), envers ses amis, et au sein même du cercle familial. Les enfants se doivent d'être obéissants envers leurs aînés et faire preuve en toute situation de piété filiale envers leurs parents. Selon Confucius, quand une société vit selon le *li*, tout se passe sans accroc car toute chose et toute personne sont à leur juste place : « Le travail de soi sur soi mené à bien, on peut mettre de l'ordre dans sa famille ; ayant bien géré sa famille, on peut participer à l'administration de son pays ; ayant bien administré son pays, on peut contribuer à pacifier le monde. »

Les concepts confucéens de respect des ancêtres et des aînés et de piété filiale sont profondément ancrés en moi. C'est sur ce fond ancestral que s'est implanté l'enseignement français.

La guerre américaine

J'ai passé une adolescence heureuse et somme toute presque normale à Saigon, malgré une nouvelle guerre qui s'est vite profilée à l'horizon. Commencée comme un conflit interne entre le Nord et le Sud-Vietnam, elle a rapidement dégénéré en confrontation tous azimuts entre le Vietnam et les États-Unis.

En effet, le traité de Genève en 1954 prévoyait des élections générales deux ans plus tard afin de mettre en place un seul gouvernement dans un Vietnam unifié. Les Américains, quoique signataires du traité, s'y opposèrent : Ho Chi Minh, fort de sa grande popularité de héros national après sa victoire sur les Français, avait de grandes chances d'être élu. Les Américains ne pouvaient prendre le risque de laisser le Vietnam devenir communiste. En ce début des années 1950 où le maccarthysme régnait aux États-Unis, le communisme était présenté comme le Grand Satan qui détruirait *l'American way of life*. Devant ce non-respect du traité de Genève, Ho Chi Minh commença en 1956 à encourager un mouvement de résistance armée contre le gouvernement du Sud-Vietnam, mené par le Viet-cong. Les Américains réagirent en envoyant d'abord des « conseillers », puis des soldats... Ce fut le début de l'atroce guerre américaine du Vietnam qui coûta la vie à plus de cinquante mille GI et à plus de deux millions et demi de Vietnamiens, dont environ deux millions de civils. Une guerre pendant laquelle les États-Unis larguèrent davantage de bombes sur le Vietnam que sur toute l'Europe pendant la Seconde Guerre mondiale. Un conflit où on commença à utiliser des poisons chimiques à outrance, en particulier le défoliant appelé « agent orange », pour tenter d'éradiquer la jungle et priver le Viet-cong de refuge, et dont les malformations génétiques qu'il causa dans la population sont encore visibles des générations plus tard chez certains enfants vietnamiens. Ce conflit terrible n'épargna aucune famille, et aucun Vietnamien n'en sortit indemne.

Saigon tomba aux mains des communistes le 30 avril 1975. Le pays fut enfin unifié et la paix retrouvée. En plus d'innombrables morts et d'incommensurables souffrances, le peuple vietnamien avait perdu plus de trente ans (soit deux générations entières) de son histoire à mener successivement deux guerres d'indépendance, l'une contre la France et l'autre contre les États-Unis. Après cent dix-sept ans de présence étrangère sur son sol, le Vietnam était de nouveau souverain, témoignant une fois encore de sa détermination et de sa

volonté d'indépendance. En effet, au X^e siècle, après s'être libéré de la domination féodale de son grand voisin du nord, la Chine, le Vietnam fut périodiquement menacé par des tentatives de reconquête de la part de dynasties chinoises successives. Au XII^e siècle, la lutte contre la dynastie des Song battait son plein ; l'invasion mongole au siècle suivant ne fut repoussée que grâce à une mobilisation générale du pays ; au début du XV^e siècle, ce fut au tour des Ming d'être chassés au terme d'une guerre de libération de dix ans et, à la fin du XVIII^e siècle, les Tsing finirent par être expulsés malgré une importante armée.

Pour moi, la vie à Saigon de 1958 à 1966 se déroula presque ordinairement. Le conflit n'avait pas encore atteint son paroxysme, même si, à partir de 1966, les Américains avaient déjà sur place un contingent d'environ un demi-million d'hommes. Les combats se déroulaient surtout en campagne, loin de la capitale. Saigon était bien protégée, mais l'atmosphère de guerre était omniprésente. Je me souviens des barbelés et des sacs de sable qui se multipliaient aux coins des rues, surtout aux alentours des installations américaines. Leur ambassade était une vraie forteresse, bardée de gardes. J'ai en mémoire plusieurs attentats terroristes en pleine ville, causant mort et dévastation. Au loin, on pouvait entendre les bombardements des B52 qui déversaient des chapelets de bombes sur la jungle et la campagne, refuge du Viet-cong. Alors la terre tremblait, les vitres vibraient et un grand rougeoiement était visible à l'horizon.

Malgré la guerre qui la cernait, Saigon surfait sur une vague de prospérité factice, causée par l'afflux de dollars et de produits envoyés des États-Unis pour soutenir l'effort de guerre. Les Américains dépensaient sans compter : ils louaient les plus belles villas de la capitale à des prix exorbitants, fréquentaient les bars et les boîtes de nuit, qui poussaient comme des champignons et défiguraient les quartiers les plus chic de la ville, et patronnaient sans vergogne la faune des prostituées qui s'était considérablement développée. Certaines familles, profitant de ces largesses, prospérèrent. Les vitrines des magasins se remplirent de postes de télévision, de réfrigérateurs, de téléphones et autres merveilles de la technologie moderne pour satisfaire les besoins de ces nouveaux riches. Mais il y avait le revers de la médaille : des milliers de paysans affluaient de toute part vers la capitale pour échapper aux combats qui faisaient rage dans leurs villages ; dépouillés de leurs biens, ils survivaient tant bien que mal de mendicité. Il n'était pas rare de voir des gens mutilés par la guerre, des enfants orphelins tendre la main, fouiller les poubelles ou dormir sur le trottoir. Les délits et les vols se multiplièrent. La vie aisée des citadins côtoyait la misère extrême des paysans délogés de leur campagne par la guerre.

Aux combats s'ajoutait une instabilité politique grandissante. Le régime du président Ngo Dinh Diem, mis en place par les Américains, devenait de plus en plus impopulaire. Catholique, le président vietnamien considérait les pagodes bouddhiques comme des centres de résistance à son pouvoir. En avril 1963, il fit interdire la célébration du Wesak, jour de l'anniversaire du Bouddha. Ce qui souleva un tollé dans la population, en grande partie bouddhiste. Des manifestations eurent lieu dans nombre de villes dont Saigon, qui furent réprimées dans le sang par la police. En protestation, plusieurs moines s'immolèrent par le feu devant les caméras de télévision du monde entier.

C'en était trop pour les Américains : cette instabilité politique ne pouvait que nuire à l'effort de guerre. Il fallait à tout prix remplacer Diem. En accord avec le président Kennedy, la CIA organisa un coup d'État avec des généraux rebelles. Je l'ai pratiquement vécu en direct, car notre maison était juste en face du palais présidentiel. Je garderai toujours le souvenir de cette nuit du 1^{er} novembre 1963 où, tapi avec ma famille au fond d'une tranchée creusée à la va-vite dans notre jardin, j'écoutais avec anxiété le bruit des tanks rebelles qui encerclaient le palais et de leurs canons qui tonnaient par intermittence. Les combats entre les troupes de Diem et les rebelles ont duré toute la nuit : les mitraillettes crachaient leurs munitions sans répit et les balles sifflaient de partout au-dessus de nos têtes. Le jour s'est levé sur un silence de mort. Quand nous sommes sortis de la tranchée, le sol était jonché de balles et de fusils abandonnés par les soldats du palais qui avaient fui. C'est vraiment par miracle que nous avons été épargnés.

Une adolescence heureuse et studieuse

Étant trop jeune, je n'étais pas directement impliqué dans l'effort de guerre. D'autre part, comme j'étais le seul garçon de la famille, je n'avais pas le souci d'un frère envoyé au front.

Aussi n'ai-je pas souffert directement des événements de cette époque. Saïgon, à l'opposé de Hanoi qui avait conservé son caractère vietnamien, a toujours été une ville résolument tournée vers l'Occident, qui importait et assimilait sans complexe tous les derniers courants et modes venus d'Europe ou d'Amérique. Il y existait une énergie et une ardeur de vivre et de s'enrichir qui rappelaient celles des grandes capitales occidentales. La guerre renforçait cette fureur de vivre : il fallait profiter autant que possible de l'instant présent par peur des lendemains incertains. Au centre de Saïgon, les grandes avenues bordées d'arbres et les demeures et palais de style colonial témoignent toujours de l'ancienne présence française. Les bons restaurants y abondaient, en plus d'un « Chinatown » appelé Cholon (le Grand Marché), et sortir déguster la cuisine vietnamienne et chinoise constituait l'un de mes plus grands plaisirs.

Mon emploi du temps quotidien était semblable à celui de tout adolescent vivant dans une grande ville, ponctué par l'école, le sport – le tennis et la natation au Cercle sportif de Saïgon – et les sorties avec les amis. À l'affût de la culture pop française et américaine, nous attendions avec impatience les derniers 45 tours venus de France ou le dernier numéro de *Salut les copains* qui nous informait de la mode yé-yé et des derniers tubes français. En particulier, j'appréciais beaucoup les chansons de Françoise Hardy, que j'ai eu la chance de connaître bien plus tard à Paris. À partir de 1963, avec la venue des troupes américaines, la culture *made in USA* prit de plus en plus d'importance. La radio de l'armée américaine diffusait à longueur de journée les derniers succès anglo-saxons des sixties : la jeunesse saïgonnaise découvrait les *protest songs* de Bob Dylan et de Joan Baez, mais aussi les compositions des Beatles et des Rolling Stones. La télévision commençait à envahir les foyers vietnamiens, du moins à Saïgon, et nous contemplions avec fascination *l'American way of life* à travers les séries télévisées américaines. Aller au cinéma était une fête : les dernières productions hollywoodiennes nous captivaient, ainsi que les films de la Nouvelle Vague venus de France.

Mais mon plus grand plaisir était la lecture, qui me permettait d'échapper à la pesanteur de mon corps et de vagabonder par

l'imagination. Mon père était un amoureux des livres et la bibliothèque de la maison était excellemment fournie, pleine d'œuvres littéraires françaises et vietnamiennes. La bibliothèque du Centre culturel français à Saigon constituant aussi une source inépuisable d'ouvrages anciens et nouveaux, je m'y rendais assidûment. Cela me permit de fréquenter non seulement les grands auteurs français – Dumas, Hugo, Verne, Saint-Exupéry me passionnaient – mais aussi de découvrir les écrivains du monde entier. Les détectives Sherlock Holmes et Hercule Poirot, sous la plume d'Arthur Conan Doyle et d'Agatha Christie, me séduisaient particulièrement. Le processus de reconstitution du crime et de découverte du coupable, dicté d'abord par l'intuition puis par une déduction logique et rationnelle, m'attirait instinctivement. Je me rendrais compte bien plus tard que c'est le processus même de la découverte scientifique en astronomie : l'événement astronomique étant survenu il y a des millions voire des milliards d'années auparavant, le chercheur, tel Sherlock Holmes, arrive sur la scène bien longtemps après que le « crime » a été commis ; c'est à lui d'examiner soigneusement la scène des faits, de rassembler les indices les plus significatifs et d'élaborer un scénario qui les intègre de façon cohérente.

J'ai obtenu mon baccalauréat français, section mathématiques élémentaires, en 1966, avec mention « très bien ». Comme j'étais un excellent élève qui raflait régulièrement les premiers prix dans de nombreuses matières, il ne faisait aucun doute que je poursuivrais des études supérieures après le lycée. Mais vers quelle spécialité allais-je m'orienter ? Devrais-je poursuivre des études littéraires ou scientifiques ? J'étais aussi doué dans les deux domaines. Mes professeurs me firent d'ailleurs passer en même temps le concours général des lycées français en mathématiques et en littérature.

Ma famille n'ayant pas de tradition scientifique, la balance penchait plutôt du côté littéraire. Mes grands-pères mandarins étaient des lettrés. Mon père, magistrat, n'avait pas d'affinité spéciale avec la science. Nous avions souvent de longues discussions sur des sujets très variés, et il s'impliquait beaucoup dans mes études, mais n'exerçait aucune pression, me laissant entièrement libre. Finalement, ce furent mes lectures qui m'aiderent à faire mon choix. Parmi les nombreux ouvrages que je rapportais du Centre culturel français, il y en avait plusieurs sur la vie d'Albert Einstein^{2} qui avaient attiré mon attention. *Comment je vois le monde*, où le physicien parle de sa science et de ses choix philosophiques et politiques, était mon livre de chevet. J'étais fasciné par le parcours de cette figure majeure du XX^e siècle.

J'appris avec étonnement et émerveillement que les grandes découvertes scientifiques du siècle dernier – l'expansion de l'univers et la physique quantique – et les révolutions technologiques qui ont

profondément modifié notre existence – la bombe atomique ou le laser – portaient toutes la marque de son génie. J'éprouvais une admiration sans borne pour l'inventeur de la relativité, ce symbole de l'intellect pur, ce prototype du professeur distrait aux cheveux ébouriffés, perdu dans ses pensées et au visage empreint de bonté et d'humanité. Son non-conformisme, sa tendance naturelle à se rebeller contre l'autorité et les idées reçues, son engagement pour les causes humanitaires, tels son opposition à l'armement atomique ou son militantisme en faveur d'un État palestinien vivant en coexistence pacifique avec Israël, frappaient mon imagination. Son sens passionné de la justice et de la responsabilité sociale me séduisait. Une des choses que je redoutais en choisissant la science et une carrière dans la recherche, c'était de m'isoler dans une tour d'ivoire et de me couper de la société et des affaires du monde. Je pensais que devenir scientifique, c'était un peu comme prononcer ses vœux et devenir moine. L'exemple d'Einstein me montrait que ce n'était pas nécessairement le cas.

C'était décidé : je suivrais ses pas, je deviendrais physicien. La science me convenait bien ; curieux de nature, fasciné par le fonctionnement de l'univers, je me posais sans cesse des questions sur le comment et le pourquoi des choses. Et puis il y avait une raison beaucoup plus pratique à ce choix : dans un pays en voie de développement comme le Vietnam, le scientifique possède considérablement plus de prestige social que le littéraire, et ses chances de trouver un emploi bien rémunéré après avoir obtenu son diplôme sont plus grandes.

Comment le général de Gaulle m'envoya en Suisse...

Le Vietnam possédait de bonnes universités où l'on pouvait étudier les sciences expérimentales et devenir ingénieur, médecin ou pharmacien. Mais il n'en était pas de même pour les sciences fondamentales comme la physique. Il me fallait donc aller à l'étranger pour poursuivre mes études supérieures. À cette époque, le gouvernement vietnamien du Sud accordait encore des sursis aux bons élèves, retardant leur service militaire jusqu'à la fin de leur cursus. Formé dans un lycée français, la France fut naturellement le pays de mon choix. Mes professeurs m'avaient fait miroiter la possibilité d'aller à Paris pour faire les classes préparatoires et passer les concours des grandes écoles françaises, comme l'Ecole normale supérieure ou l'Ecole polytechnique. Sur leurs conseils, je m'inscrivis au lycée Louis-le-Grand qui m'accepta en classe préparatoire pour la rentrée de septembre 1966. Mais le destin intervint.

Juste avant mon départ pour Paris, le général de Gaulle prononça le 1^{er} septembre 1966 son fameux discours de Phnom Penh, lors d'un voyage au Cambodge. Dans son allocution, le président français disait haut et fort qu'il fallait faire du Sud-Est asiatique une zone neutre (« non alignée », selon les termes du Général) et libre de toute influence étrangère. En d'autres termes, les États-Unis devaient se désengager immédiatement du Sud-Vietnam et laisser les Vietnamiens régler entre eux un conflit interne. Rétrospectivement, l'histoire a donné raison à de Gaulle. Mais sa déclaration ne fut pas du goût du gouvernement de Saïgon, lequel, bien conscient que sans l'appui des troupes américaines il ne pouvait résister militairement à son voisin du nord, décida de rompre les relations diplomatiques avec Paris. Il était désormais interdit à tout ressortissant vietnamien de se rendre en France, a fortiori pour y poursuivre des études. Mes plans si soigneusement élaborés tombaient brusquement à l'eau !

Il fallut vite trouver une solution de rechange. Une sage décision était d'aller étudier dans un pays francophone en attendant que les relations entre le Vietnam et la France s'améliorent et que la situation se débloque. Je choisis donc au dernier moment la Suisse romande, d'abord parce qu'à Lausanne existait une école d'ingénieurs réputée, l'École polytechnique de l'université de Lausanne (EPUL), ensuite parce que j'avais de la famille à Genève, un de mes oncles étant l'ambassadeur du Sud-Vietnam aux Nations-Unies. J'arrivai ainsi, fin septembre 1966, à Lausanne. C'était mon premier voyage à l'étranger.

Outre le choc culturel, l'éloignement de la famille et le froid de l'hiver suisse, ce qui me frappa le plus dans ma nouvelle vie, ce fut l'indicible sentiment de sécurité que je ressentais dans mon nouvel environnement. Depuis ma naissance, j'avais toujours vécu dans une atmosphère de guerre. Je ne savais pas ce que pouvait signifier vivre dans un pays en paix. Pendant les premiers mois, cela me fit tout drôle de pouvoir me promener la nuit sans avoir peur de voir surgir à tout instant des commandos de soldats ou d'être arrêté par des batailles rangées sur la route. Je découvris peu à peu que l'obscurité pouvait ne pas être menaçante.

À Lausanne, je m'étais inscrit dans la section « ingénieur physicien » dans l'espoir de pouvoir approcher cette physique fondamentale qui m'attirait tant. Mais je m'aperçus vite que dans une école d'ingénieurs, la science enseignée était plus « appliquée » que fondamentale, les ingénieurs utilisant les lois découvertes par les physiciens. On ne me formait pas tant à faire de la recherche qu'à appliquer des recettes toutes faites à des situations particulières. Après quelques mois de cours, il fallait se rendre à l'évidence : ce n'était pas la voie que je souhaitais suivre.

... et comment la neige me fit choisir le soleil californien

Mais où aller pour me former à la physique au plus haut niveau ? J'avais caressé depuis longtemps le rêve de me rendre aux États-Unis. Avant mon départ de Saigon, j'avais eu l'occasion d'aller au Centre culturel américain pour consulter les brochures de quelques grandes universités américaines qui bénéficiaient d'une réputation scientifique mondiale et m'avaient été chaudement recommandées : le MIT (Massachusetts Institute of Technology) à Boston, le Caltech (California Institute of Technology) à Pasadena et l'université de Princeton dans le New Jersey. Outre que la ville de Princeton revêtait une signification spéciale pour moi, car Einstein, mon héros de jeunesse, y avait travaillé à l'Institut des études avancées (Institute for Advanced Studies) pendant les vingt-deux dernières années de sa vie, ces universités, telles que décrites dans les brochures, m'avaient ébloui par leur cadre idyllique et leurs ressources : de beaux campus avec une vie culturelle et sociale active, des laboratoires ultramodernes où travaillaient et enseignaient les professeurs les plus réputés. Mais se posait bien sûr le problème de la langue. Le peu d'anglais que je connaissais m'avait été dispensé au lycée de Saigon, au rythme de quelques heures de cours par semaine pendant lesquelles la classe faisait surtout des exercices de traduction. J'avais une connaissance livresque de la langue de Shakespeare, mais ne la parlais pas couramment. Malgré ce handicap, je décidai de sauter le pas : le désir de me faire enseigner la physique par les esprits les plus brillants du monde était trop fort. Et puis, à dix-huit ans, on a toutes les audaces. J'envoyai donc aux trois universités une demande d'admission.

Non sans m'interroger sur l'issue de ma requête. Il y avait de quoi. Les universités prestigieuses auxquelles je postulais n'admettaient que la crème de la crème des étudiants sortant des lycées américains (le *top 1%*). Ferais-je le poids ? Je me disais aussi que les Américains ne devaient pas bien connaître le cursus français, et que pour eux le baccalauréat ne voulait peut-être pas dire grand-chose. De plus, je leur demandais un soutien financier. En effet, le coût des études universitaires aux États-Unis – des dizaines de milliers de dollars par année académique – dépassait de beaucoup ce que mon père gagnait annuellement. Sans bourse, il était hors de question que je puisse aller y étudier. Pour couronner le tout, je postulais pour une admission en deuxième année, car je ne voulais pas perdre le temps passé à

Lausanne. Comme je m'y attendais, les universités américaines, ne pouvant pas jauger le niveau de mes connaissances, me firent passer une longue série de tests. Je réussis les examens de mathématiques et de physique, et obtins des résultats moins brillants mais néanmoins décents en anglais. Et non seulement je fus admis dans les trois universités, mais toutes m'offrirent une bourse ! C'est là une des principales qualités des grandes universités américaines : leur volonté d'aider et d'encourager les étudiants dont elles perçoivent le talent, quelle que soit leur condition sociale.

Les résultats dépassaient toutes mes espérances. Je n'avais maintenant que l'embarras du choix. Devrais-je aller à Caltech sur la côte ouest des États-Unis, ou choisir le MIT ou Princeton sur la côte est ? Je ne pouvais les différencier par leur niveau académique : chacune des trois, j'en étais persuadé, me donnerait une formation en physique de premier ordre. Finalement, c'est pour une raison tout à fait futile que je choisis d'aller en Californie : ayant grandi dans un pays tropical et découvert en Suisse que le froid n'était vraiment pas à mon goût, j'avais envie de soleil. Et puis il y avait le mythe de la Californie, avec ses plages, ses belles filles et ses surfeurs chantés par les Beach Boys...

Après un stage d'anglais à l'université du Pays de Galles pendant l'été, je suis arrivé à Caltech fin août 1967. Je me souviendrai toujours du moment où j'ai posé les pieds pour la première fois sur le sol américain à l'aéroport de Los Angeles, la « cité des anges ». Je cherchais fébrilement des yeux l'étudiant de Caltech qui avait gentiment proposé de venir m'attendre et de me ramener en voiture au campus situé à plus d'une heure de route de l'aéroport, dans la ville de Pasadena. Dans la voiture, je découvris avec stupéfaction l'immensité de ce territoire, avec la ville de Los Angeles qui s'étendait à perte de vue. Je découvris aussi la civilisation de l'automobile, avec son énorme réseau d'autoroutes, ses innombrables véhicules à la taille démesurée, ses multiples stations d'essence et motels et ses divers fast-food. *L'American way of life* que j'avais vu tant de fois à la télévision et au cinéma prenait corps devant mes yeux. Une pensée traversa brièvement mon esprit, qui me serra le cœur : avais-je pris la bonne décision en quittant la Suisse et en laissant derrière moi mon oncle et mes amis d'université pour un pays dont la culture m'était aussi étrangère, où je ne connaissais personne et dont je ne parlais même pas la langue ?

La découverte du campus de Caltech dissipa vite ces doutes. C'était vraiment un lieu d'exception. Caltech était en quelque sorte la Mecque de la science mondiale. La qualité de l'enseignement et de la recherche qui y étaient pratiqués était extraordinaire. Les professeurs étaient tous des chercheurs de réputation internationale, des maîtres

incontestés dans leurs domaines respectifs. Un grand nombre avaient été élus à l'Académie des sciences américaine, et cinq d'entre eux avaient été récompensés par le prix Nobel. Il y avait sur le campus de très grands physiciens, tels Richard Feynman, Prix Nobel de physique 1965, l'un des fondateurs de l'électrodynamique quantique (la théorie des interactions entre les électrons et les photons), considéré comme l'un des physiciens les plus brillants et les plus créatifs de sa génération ; ou encore Murray Gell-Mann, Prix Nobel de physique 1969, inventeur du quark, composante fondamentale de la matière.

Moi qui aspirais à apprendre la physique fondamentale, je ne pouvais être mieux loti !

Très sélectif, Caltech ne recrutait en ce temps-là qu'environ deux cents étudiants par an. Pour enseigner aux quelque huit cents étudiants (il fallait quatre ans pour obtenir un diplôme de *Bachelor of sciences*, à peu près équivalent à la licence française), il y avait environ quatre cents professeurs et chercheurs. Autre privilège suprême, je pouvais frapper à tout moment à la porte de n'importe lequel d'entre eux, et tous ces grands esprits prenaient le temps de me parler ! Voilà qui me changeait, venant d'un système éducatif français dans lequel enseignants et étudiants gardaient toujours une certaine distance. J'étais époustouflé que Feynman, une des sommités de la physique contemporaine, prenne le temps de répondre patiemment aux questions que des gamins de dix-huit ans lui posaient, quand il ne plaisantait pas avec eux. Et j'étais tout aussi stupéfait de la liberté incroyable dont faisaient preuve les étudiants, certains allant pieds nus, tout débraillés, à des cours donnés par un prix Nobel !

Au début, mon manque de maîtrise de la langue me joua des tours et me rendit la vie dure. C'était un cauchemar que de répondre au téléphone : je disais *yes* ou *no* presque au hasard à la voix à l'autre bout du fil. Heureusement qu'en science les équations sont écrites dans le langage universel des mathématiques. Mais, à dix-neuf ans, les connexions neuronales se réaménagent facilement et on apprend vite. Pour moi, c'était une question de *swim or sink* : soit j'apprenais vite à nager dans ce nouveau monde, soit je coulais. Je décidai de nager et appris à parler anglais en un trimestre, non pas en prenant des cours intensifs, mais par osmose, en le pratiquant.

Des professeurs hors norme

Richard Feynman était l'un de mes professeurs favoris. Il me fallut quelque temps pour m'habituer à son fort accent new-yorkais du Queens, mais cela en valait la peine. Il commençait toujours par détendre l'atmosphère de la classe en nous racontant une anecdote sympathique, ce qui nous mettait tout de suite à l'aise. Il avait un humour décapant et adorait nous poser des colles. Je n'ai cependant jamais senti chez lui la moindre condescendance envers ses étudiants. Je crois qu'il aimait en nous la fraîcheur et la curiosité de la jeunesse, en même temps que sa faculté à remettre constamment en question les idées reçues. Nous étions tous, quant à nous, fascinés de l'entendre et de le voir, ponctuant chaque parole avec de grands gestes, et soulignant chaque phrase avec des moues expressives.

Il avait une conception tout à fait personnelle et originale de la physique fondamentale. Il regardait inlassablement la nature avec des yeux neufs, loin des sentiers battus, et réinterprétait tout – mécanique classique, électromagnétisme, gravitation, mécanique quantique – à sa manière. Il possédait une intuition hors du commun. Quand il s'attaquait à un problème, on avait l'impression qu'il connaissait déjà la solution et que le raisonnement qui suivait ne servait qu'à étayer son intuition. En l'écoutant, nous nous sentions devenir plus intelligents tellement il nous subjuguait, ce qui, lorsque nous nous retrouvions seuls dans nos chambres, face à nos devoirs, ne nous empêchait pas de sécher ! En fait, je pense aujourd'hui que son enseignement était mieux adapté à des physiciens confirmés, plus à même de profiter de l'éclairage nouveau que Feynman donnait à d'anciens problèmes que nous autres, pauvres débutants, qui n'avions pas encore été confrontés aux expériences de laboratoire et à la dure ascèse des calculs et des équations. D'ailleurs, les professeurs et chercheurs en physique à Caltech ne furent pas dupes : à mesure que le semestre progressait, ils venaient en nombre croissant assister aux cours de Feynman, alors que les étudiants de première et de deuxième année – auxquels ces cours étaient en théorie destinés – se faisaient de plus en plus rares. Pour ma part, j'ai été d'une assiduité sans faille, tant le personnage me fascinait. Les cours de physique de Feynman ont été publiés sous forme d'ouvrages qui servent aujourd'hui de référence aux physiciens du monde entier^{3}.

En plus du professeur et du chercheur hors norme, nous admirions aussi en lui une personnalité extraordinaire, qui dévorait la vie à

pleines dents, jouait du bongo, s'adonnait à la peinture et était grand amateur de jolies femmes. Quand il nous a quittés en 1988, après avoir mené un long combat contre le cancer, tout le campus l'a pleuré. Chaque personne qui a eu la chance de le rencontrer se rappelle une présence lumineuse d'une prodigieuse intelligence.

Avec un tel professeur, il aurait été naturel que je devienne physicien. Pourtant, tel ne fut pas le cas. Le but de la physique consiste à expliquer avec un petit nombre de lois générales simples la complexité apparente de la nature en même temps que son extraordinaire diversité. Einstein disait : « La tâche suprême du physicien est de découvrir ces quelques lois élémentaires universelles à partir desquelles le cosmos peut être déduit par la pure raison. » Une des approches possibles pour découvrir ces lois fondamentales et construire une vue unifiée de la nature est de la décrire en termes de particules élémentaires et de leurs interactions mutuelles. Cette démarche dite « réductionniste » tente de ramener la richesse et la beauté du monde aux seules particules, champs de force et interactions. Elle suppose que toute la complexité du monde – le parfum des lavandes, le rouge des coquelicots des champs, les feux rougeoyants d'un coucher de soleil – peut être expliquée en fonction du comportement de ses composantes fondamentales. Cette approche a ses limites, comme nous le verrons, mais elle faisait fureur dans les années 1960, surtout à Caltech, où le domaine d'investigation des deux dieux du campus, Richard Feynman et Murray Gell-Mann, était précisément l'étude des particules élémentaires.

Dans les années 1930, on savait déjà que les atomes de matière étaient composés d'un noyau constitué de protons et de neutrons autour duquel virevoltaient des électrons. Le trio électron-proton-neutron fut bientôt rejoint par des centaines d'autres particules. Certaines, aux noms poétiques de « muon », « pion » ou encore « tau », sont venues du ciel sous la forme de « rayons cosmiques » – des flux de particules de matière créées et accélérées à très grande vitesse lors des agonies explosives (appelées « supernovae ») d'étoiles massives dans la Voie lactée, et visitant la Terre après un long voyage interstellaire. Mais la très grande majorité d'entre elles naissent et vivent bien moins que le temps d'un battement de cils (un millionième de seconde ou moins) dans le feu de violents bombardements de la matière par des faisceaux de particules accélérées à l'extrême dans les entrailles de gigantesques machines.

Le zoo des particules proliférait ainsi à vue d'œil, créant une extrême confusion. La situation au début des années 1960 ressemblait à celle qui prévalait à la fin du XIX^e siècle avec la multiplication de nouveaux éléments chimiques. Il fallait donc un nouveau Mendeleïev pour mettre de l'ordre dans ce désordre. Ce fut Gell-Mann. Mais si les

chimistes avaient dû attendre la découverte du proton et de l'électron pour comprendre l'organisation des éléments chimiques dans la table périodique, Gell-Mann n'hésita pas à inventer lui-même les particules dont il avait besoin pour instaurer l'harmonie dans le monde subatomique ! Selon lui, la variété ahurissante des particules subatomiques ne pouvait se comprendre que si la matière était constituée d'une particule encore plus élémentaire que le proton et le neutron, une particule qu'il baptisa du nom de « quark ». Amoureux de la langue de l'écrivain irlandais James Joyce, le physicien avait été marqué par la consonance étrange d'une phrase joycienne dans *Finnegans Wake* : « *Three quarks for Muster Mark* ». « Trois quarks pour M. Mark », donc, mais aussi pour le proton ou le neutron, puisque, dans le schéma de Gell-Mann, ceux-ci résultaient de la combinaison d'un nombre triple de quarks. Avec l'invention du quark, Gell-Mann réordonna le monde des particules.

L'ombre de Hubble

Certes le monde des particules élémentaires était fascinant et stimulait mon imagination. Pourtant, un autre domaine accaparait de plus en plus mon attention. Je découvris que si Caltech était l'un des premiers centres mondiaux pour la physique, il était aussi à la pointe de l'astronomie. L'université possédait le plus grand télescope du monde à ce moment-là, celui du mont Palomar à quelque cent kilomètres au sud de Los Angeles, avec un miroir de cinq mètres de diamètre. J'appris avec émerveillement que Caltech avait une longue tradition astronomique. Le campus avait toujours été associé avec les plus grands télescopes de chaque époque. L'histoire avait commencé au début du XX^e siècle, en 1908, quand Andrew Carnegie, le magnat de l'acier, finança la construction sur le mont Wilson, non loin de Los Angeles, d'un télescope d'un mètre cinquante de diamètre, puis d'un autre de deux mètres cinquante en 1922, qui allaient bientôt changer le visage du monde.

Il faut comprendre que la lumière constitue le lien principal entre l'homme et le cosmos, et que la tâche première de l'astronome est de recueillir cette lumière afin de déchiffrer le code cosmique qu'elle porte. Les grands télescopes permettent de voir des astres de très faible luminosité. Or voir faible, c'est voir loin dans l'espace, ce qui veut dire voir tôt car la lumière met du temps pour nous parvenir. Même si elle se déplace à la plus grande vitesse possible dans l'univers, trois cent mille kilomètres par seconde – un tic-tac d'horloge, et la lumière a déjà fait sept fois le tour de la Terre ! -, elle se déplace à pas de tortue à l'échelle du cosmos. Ainsi, nous voyons la Lune avec un peu plus d'une seconde de retard, le Soleil après huit minutes, la plus proche étoile après un peu plus de quatre années, et ainsi de suite. Les télescopes, ces cathédrales des temps modernes qui recueillent la lumière du cosmos, sont de véritables machines à remonter le temps.

Mais j'étais surtout subjugué par l'aventure d'un homme qui a été associé à Caltech et dont les découvertes ont révolutionné notre vision du monde. Utilisant les télescopes des monts Wilson et Palomar, Hubble a ouvert grands les horizons de l'astronomie et tracé le chemin pour le jeune étudiant que j'étais.

Au début du XX^e siècle, le débat faisait rage sur la taille et les limites du cosmos : l'univers finissait-il avec notre galaxie, la Voie lactée, ensemble d'une centaine de milliards de soleils rassemblés par

la gravité en un disque de quelque quatre-vingt-dix mille années-lumière de diamètre, ou s'étendait-il considérablement plus loin ? Existait-il d'autres systèmes comparables à notre galaxie au-delà des limites de cette dernière, d'autres « univers-îles », comme le pensait déjà, en 1775, le philosophe allemand Emmanuel Kant ? Les grands télescopes nouvellement construits révélaient bien l'existence dans le ciel de nombreuses taches de lumière faibles et indistinctes appelées « nébuleuses » (du latin *nebula*, qui signifie « nuage »), mais dont la nature exacte restait inconnue. Certains pensaient que l'univers se réduisait à la Voie lactée et que les nébuleuses devaient toutes y être contenues : elles n'étaient que des nuages de gaz relativement proches illuminés par des étoiles. D'autres n'en étaient pas si certains. Entra alors en scène un jeune Américain qui avait délaissé le barreau pour l'astronomie, du nom d'Edwin Hubble et en l'honneur duquel le télescope spatial sera baptisé. En 1924, il entreprit de mesurer la distance de la nébuleuse d'Andromède avec le télescope de deux mètres cinquante nouvellement construit du mont Wilson. Il obtint une distance de neuf cent mille années-lumière jusqu'à la nébuleuse (aujourd'hui les calculs la portent à 2,3 millions d'années-lumière), soit bien au-delà de la Voie lactée. Andromède devint une galaxie, sœur jumelle de la nôtre. Les portes de l'univers extragalactique s'ouvrirent toutes grandes. L'univers se peupla soudainement d'une multitude de galaxies. Les univers-îles de Kant devenaient réalité. Nous savons aujourd'hui que notre Voie lactée n'est qu'une galaxie parmi les cent milliards que contient l'univers observable.

Mais Hubble n'entendait pas s'arrêter en si bon chemin. Il s'attaqua à un problème qui intriguait les astronomes depuis des années. Bien avant qu'ils ne comprennent leur vraie nature, les observateurs des nébuleuses avaient remarqué que leur lumière était systématiquement rougie. Ce rougisement était attribué à un mouvement de fuite (c'est ce qu'on appelle l'« effet Doppler », qui s'applique aussi au son : le son de la sirène d'une ambulance devient brusquement plus grave pour une personne immobile dès que l'ambulance passe devant elle et s'éloigne). Plus le mouvement de fuite d'une galaxie était grand, plus sa lumière était rougie. En d'autres termes, il suffisait de mesurer le rougisement de la lumière d'une galaxie pour en déduire sa vitesse de fuite. Après Andromède, Hubble entreprit de mesurer, toujours avec le télescope du mont Wilson, les distances et les vitesses de fuite d'autres galaxies en se servant du rougisement de leur lumière. Ses efforts allaient se révéler payants. En 1929, il annonça sa deuxième grande découverte : si toutes les galaxies lointaines fuyaient la Voie lactée, ce mouvement ne se faisait pas au hasard. Et l'astronome d'énoncer ce qui est maintenant connu comme la « loi de Hubble » : la vitesse de fuite

d'une galaxie est proportionnelle à sa distance de la Terre. Une galaxie trois fois plus distante s'éloigne trois fois plus vite, une galaxie dix fois plus distante s'éloigne dix fois plus vite. Et ce mouvement de fuite est le même dans toutes les directions. Bien qu'elle semble extraordinaire et fantastique, la conclusion était inéluctable : l'univers est en expansion.

Autre conséquence capitale du fait que la vitesse de fuite d'une galaxie variait en proportion de sa distance avec la Terre : l'univers a eu un début. En effet, le temps mis par chaque galaxie pour parvenir de son point d'origine à sa position actuelle est le rapport de sa distance à sa vitesse. Parce que, justement, la vitesse est proportionnelle à la distance, ce temps est exactement le même pour chaque galaxie. Si la séquence des événements était inversée, toutes les galaxies se rencontreraient au même endroit au même instant. D'où l'idée d'une grande déflagration initiale, le « grand boum » ou, en anglais, le *big bang*, qui donna lieu à l'expansion actuelle de l'univers. Hubble posa ainsi le premier pilier observationnel de la théorie du big bang.

L'ombre du grand astronome planait sur le campus et la légende de ses découvertes exceptionnelles exerçait une forte impression sur mon jeune esprit. Mais il n'y avait pas que le passé qui frappait mon imagination, le présent aussi offrait bien des stimulations intellectuelles. Les années 1960 virent se succéder une pléthore de découvertes plus spectaculaires les unes que les autres. Certaines furent faites sur le campus même. Ainsi, en 1963, un de mes professeurs d'astronomie, Maarten Schmidt, découvrit les quasars, objets fabuleux qui sont les plus intrinsèquement lumineux du cosmos et qui émettent l'énergie d'une galaxie entière dans un volume à peine plus grand que celui du système solaire. Situées aux confins de l'univers, ce sont des galaxies qui hébergent en leur cœur un monstrueux trou noir d'une masse de plusieurs milliards de fois celle du Soleil. Et c'est ce trou noir qui, du fait de son insatiable voracité, en déchiquetant et en dévorant à tout-va les étoiles de la galaxie hôte, est responsable de la luminosité fantastique du quasar.

Deux ans après, en 1965, ce fut la découverte par Arno Penzias – qui fut plus tard l'un de mes professeurs à Princeton – et Robert Wilson, deux radio-astronomes américains travaillant dans un laboratoire de la compagnie téléphonique Bell, du rayonnement fossile, la chaleur résiduelle du big bang. Cette lumière fossile provient de la nuit des temps (trois cent quatre-vingt mille ans après l'explosion primordiale) et baigne l'univers tout entier. Son existence nous dit que ce dernier est parti d'un état extrêmement chaud et dense. Avec l'expansion de l'univers, la lumière fossile constitue l'une des deux pierres angulaires de la théorie du big bang. C'est sa

découverte qui lui a rallié la majorité des scientifiques. C'est aussi l'écueil contre lequel butent la plupart des théories rivales.

En 1967, autre grande découverte : celle des pulsars, des cadavres d'étoiles constituées entièrement de neutrons et qui émettent un rayonnement radio sous la forme d'un étroit faisceau balayant l'espace à la manière du pinceau lumineux d'un phare sur l'océan. Chaque fois que le faisceau radio balaie la Terre, un signal lumineux est détecté par nos radiotélescopes. Ces pulsations séparées les unes des autres par le temps que met l'étoile à faire un tour sur elle-même surviennent avec la régularité d'un métronome, et c'est pourquoi l'étoile à neutrons est également appelée « pulsar » (de l'anglais *pulse*, « pulsation »).

Les années 1960 furent aussi la période où l'exploration du système solaire par les satellites spatiaux prit son essor. Depuis la mise en orbite du premier satellite artificiel Spoutnik en 1957, l'homme a pu en quelque sorte « satelliser » ses yeux. Le développement de l'astronautique et la conquête de l'espace permirent d'envoyer au-dessus de l'atmosphère terrestre des télescopes juchés sur des ballons, fusées ou satellites. Là aussi, Caltech joua un rôle central. Le centre de la NASA responsable de toute l'exploration du système solaire par des sondes spatiales, le Jet Propulsion Laboratory, était associé à l'université.

Je me souviendrai toujours de l'émotion qui m'a envahi lors des premières images que la sonde Mariner 9 avait envoyées de la planète Mars, en 1969. Je revois encore la salle de classe où un de mes professeurs avait installé un écran géant sur lequel les images se formaient en direct, pixel par pixel sous nos yeux, à mesure que les signaux radio atteignaient la Terre. C'était un sentiment indicible que de voir Mars révéler pour la première fois à l'humanité son vrai visage. Je découvrais avec émerveillement, en même temps que mes camarades de classe, la surface rocailleuse, aride et désertique de la planète rouge. Il n'y avait certainement pas de villes martiennes, ni de petits hommes verts. Les canaux que les astronomes du XIX^e siècle avaient cru voir n'étaient que de pures créations de leur imagination trop débordante. On était maintenant certain que les Martiens, qui ont nourri l'inspiration de tant d'auteurs de science-fiction, n'étaient que... fiction ! Inutile de dire combien ce genre d'expérience peut impressionner un jeune esprit. Ces découvertes qui faisaient la une de tous les journaux ne pouvaient que m'attirer de plus en plus vers l'astrophysique.

Premiers pas dans la recherche

Malgré tout, ce ne firent pas tant ces avancées qui déterminèrent mon orientation, que l'observation directe du ciel. Comme j'avais besoin de gagner ma vie pendant les trois mois des vacances d'été, j'avais décidé de chercher un *summer job* sur le campus. Je me disais que je pouvais joindre l'utile à l'agréable en trouvant un emploi dans un laboratoire d'astrophysique, ce qui me permettrait non seulement d'apprendre à faire de la recherche, mais aussi de voir en direct des astrophysiciens à l'œuvre. Aux États-Unis, les professeurs ne percevant pas de salaire pendant les vacances d'été, ils doivent demander des subventions, ou *grants*, à des agences gouvernementales. En astrophysique, ces agences sont la NSF (National Science Foundation) et la NASA. Ces subventions prévoient l'embauche temporaire d'étudiants pour aider à faire des calculs ou des expériences. Il me suffisait donc d'aller frapper à la porte de n'importe quel professeur dont le sujet de recherche m'intéressait, aussi illustre fût-il, et le tour était joué.

Les deux stages que j'ai effectués pendant les étés 1967 et 1968 ont exercé une profonde influence sur ma façon de concevoir la recherche scientifique. J'ai fait le premier dans le laboratoire de William Fowler, futur Prix Nobel de physique 1983, et père de l'astrophysique nucléaire. C'est lui qui a explicité comment tous les éléments lourds sont générés à l'intérieur de cette espèce de centrale nucléaire qu'est une étoile. Plus lourds que l'hydrogène et l'hélium, éléments légers fabriqués lors du big bang, ils constituent les bases de la vie et sont responsables de toute la beauté et de la complexité du monde. Autrement dit, en décrivant en détail les réactions nucléaires responsables de l'alchimie créatrice des étoiles, Fowler a démontré que nous sommes tous faits de poussières d'étoiles ! Mon travail consistait précisément à mesurer le taux de certaines réactions nucléaires du Soleil grâce à un accélérateur qui envoyait des particules à toute vitesse vers une cible fixe. J'appris ainsi la dure ascèse de la recherche : pas toujours très stimulante, exigeant parfois des tâches répétitives et dépourvues de créativité et d'imagination, elle peut mener à des impasses et au découragement, mais elle demande toujours beaucoup de travail (selon la formule « 90% de transpiration et 10% d'inspiration »), de la persévérance, et de la passion. Mon premier aperçu de l'astrophysique fut donc bien éloigné du ciel. Je n'avais toujours pas eu de contact direct avec un télescope.

Lacune qui fut comblée l'année suivante, à l'occasion de mon deuxième *summerjob*. Pendant l'été 1968, j'intégrai le laboratoire d'un physicien, Gordon Garmire, qui pratiquait ce que l'on appelle l'« astronomie X ». Il faut savoir que la lumière à laquelle nos yeux sont sensibles ne constitue qu'une faible partie de toute la gamme possible de celles qui composent ce que le physicien appelle le « spectre électromagnétique ». La lumière est caractérisée par son énergie ; par ordre d'énergie décroissante viennent la lumière gamma et la lumière X, qui traversent nos corps ; la lumière ultraviolette, invisible elle aussi mais qui brûle notre peau et peut causer des cancers ; notre chère lumière visible ; la lumière infrarouge, que nos corps émettent en permanence et qui permet aux chiens de nous voir la nuit, car leurs yeux y sont plus sensibles ; et la lumière radio, qui véhicule nos programmes de télévision depuis la station émettrice jusqu'à nos postes. Notre astre de vie, le Soleil, rayonne surtout dans le visible, et la sélection naturelle nous a pourvus d'yeux qui y sont sensibles pour faciliter notre évolution. Mais l'univers n'est pas soumis à cette contrainte et il ne se prive pas de manifester sa créativité en se servant de toutes les lumières possibles : les rayons gamma révèlent la mort explosive d'étoiles massives, et les rayons infrarouges dévoilent des pouponnières stellaires enfouies dans des cocons de poussière.

Le professeur Gordon Garmire étudiait des sources X dans le ciel avec un télescope en orbite au-dessus de l'atmosphère de notre planète. Cette lumière très énergétique est généralement liée à des phénomènes violents dans le ciel, par exemple l'agonie explosive d'une étoile massive qu'on appelle « supernova », ou encore l'atmosphère d'une étoile happée par la gravité d'un trou noir. Ainsi, quand la matière gazeuse d'une étoile tombe vers un trou noir, sa température est portée à des millions de degrés Celsius, ce qui lui fait émettre une lumière très énergétique sous la forme de rayons X, avant de disparaître dans la bouche béante du trou noir. Un des projets de recherche de Garmire était d'identifier l'étoile dont le gaz alimentait l'appétit vorace du trou noir. Cette étoile rayonnant surtout dans le visible, il fallait photographier l'emplacement de la source X dans le ciel avec un télescope optique. Le fameux télescope du mont Palomar qui appartenait à Caltech était tout désigné pour cette tâche. L'université avait en effet su convaincre le magnat du pétrole John Rockefeller de financer ce mastodonte équipé d'un miroir de cinq mètres de diamètre, qui fut inauguré en 1948 et qui resta, jusque dans les années 1960, le plus grand réflecteur du monde. Équipé d'instruments modernes, il permet de voir des objets quarante millions de fois moins lumineux que l'étoile la plus faible distinguable à l'œil nu. Parce que voir faible, c'est voir loin, et voir loin, c'est voir

tôt, le télescope de Palomar peut remonter le temps de quelque sept milliards d'années, soit la moitié de l'âge de l'univers.

Quand Garmire me demanda de l'accompagner à Palomar afin de l'assister dans ses observations, je ne fus que trop heureux de sauter sur cette occasion inespérée. Ma première nuit avec ce télescope de légende reste pour moi inoubliable. Les sites astronomiques sont toujours des lieux naturels d'une beauté exceptionnelle, loin de la civilisation et de la lumière des villes, et en hauteur afin d'avoir une vue aussi dégagée que possible. Mon cœur battait à grands coups quand notre voiture est arrivée au sommet du mont Palomar et que j'ai vu pour la première fois se dresser le dôme qui abrite le télescope, immense, au tournant de la route, telle une cathédrale futuriste tournée vers le ciel. À l'intérieur, le télescope, véritable merveille technologique, est tellement haut qu'il faut utiliser un ascenseur pour y monter. La nuit tombée, quand il fut temps d'ouvrir la fente, de pointer le mastodonte vers le ciel et de recueillir la précieuse lumière cosmique, je ressentis pour la première fois l'immensité de l'univers et ce sentiment ineffable de connexion cosmique. Je me disais que ce vaste cosmos regorgeait de secrets et que, même avec ma petite intelligence, je pourrais contribuer un tant soit peu à faire reculer l'inconnu, à soulever un petit pan de son mystère. Je n'avais pas besoin d'avoir le génie d'un Feynman pour faire des découvertes. Le nombre de problèmes non résolus en astrophysique semblait infini, tandis qu'il me paraissait être plus limité en physique des particules élémentaires.

L'ombre de Hubble, les grandes découvertes astronomiques – certaines faites sur le campus même par mes propres professeurs –, l'exploration spatiale du système solaire, le coup de foudre que j'eus pendant les observations au mont Palomar, toute cette frénésie d'événements et d'activités – à laquelle s'ajoutèrent en 1969 les premiers pas de l'homme sur la Lune – était extraordinairement stimulante pour un jeune esprit curieux comme le mien. J'étais au bon endroit au bon moment pour tomber dans la marmite de l'astronomie. Au milieu de cette effervescence intellectuelle, il était inévitable que je devienne astrophysicien.

Je dois ici rendre hommage à mes parents. Choisir d'être chercheur en général, et astrophysicien en particulier, est assez inhabituel pour un Vietnamien. Comme je l'ai dit, les parents qui en avaient les moyens poussaient plutôt leurs enfants à poursuivre des carrières en médecine, en pharmacie ou en droit, carrières bien plus lucratives et plus considérées socialement. Malgré tout, mes parents m'ont sans cesse encouragé et soutenu moralement dans mes choix. Savoir qu'ils étaient toujours derrière moi quelles que soient mes décisions m'a donné beaucoup de force et de courage pour poursuivre

mes études et atteindre le but que je m'étais fixé.

Une société en effervescence

Les années 1960 ne constituèrent pas seulement l'âge d'or de l'astrophysique, elles virent aussi des bouleversements profonds se produire dans la société américaine, exacerbés par le conflit vietnamien. Grâce à la télévision, je pouvais suivre au jour le jour l'évolution de la situation militaire de mon pays. Communiquer avec mes parents était difficile en ces temps où le globe n'était pas aussi interconnecté qu'il l'est aujourd'hui. Internet n'existait pas encore et téléphoner des Etats-Unis au Vietnam coûtait une fortune. Le seul moyen pratique de communication était le courrier, qui mettait des semaines à arriver.

Concernant le déroulement de la guerre, le discours officiel des responsables à Washington était résolument optimiste : les Américains étaient en train de gagner contre le Viet-cong. Se produisit alors, début 1968, la fameuse offensive du Têt (le Nouvel An vietnamien), une attaque coordonnée et généralisée du Viet-cong et des troupes nord-vietnamiennes sur plusieurs villes importantes du Sud-Vietnam, dont Hué et Saigon. Au cours de cette offensive, les troupes insurgées occupèrent l'ambassade américaine à Saigon pendant quelques heures. Ce fut pour le peuple américain un choc terrible (choc que je pus constater de première main), et qui serait décisif dans son désengagement de la « sale guerre ». Alors que les militaires et politiciens clamaient tous haut et fort que le Viet-cong allait être bientôt battu (ils voyaient « la lumière au bout du tunnel »), voilà que les télévisions américaines nous montraient leur drapeau flotter sur l'ambassade américaine, en plein cœur de la capitale ! Malgré les pertes importantes subies par ses troupes, Ho Chi Minh avait frappé fort : il avait compris très tôt l'impact que la télévision pouvait avoir sur l'opinion publique. Pendant l'offensive du Têt, un obus de mortier tomba sur notre maison de Saigon ; par miracle, personne ne fut blessé, mais une de mes sœurs souffre encore aujourd'hui de séquelles psychologiques.

Aux États-Unis, les campus universitaires étaient en effervescence. La guerre du Vietnam devenait de plus en plus impopulaire et les étudiants manifestaient en masse pour demander un retrait immédiat des troupes américaines du Sud-Est asiatique. Des chanteurs engagés et populaires comme Bob Dylan ou Joan Baez dénonçaient l'absurdité de la guerre dans leurs *protest songs*. C'était l'époque du Free Speech Movement sur le campus de Berkeley. Certains étudiants refusaient

d'accomplir leur service militaire et brûlaient sur la place publique leur carte de conscription, déclarant ainsi leur refus d'être envoyés au front pour une cause en laquelle ils ne croyaient pas. J'ai vu quelques-uns de mes camarades de classe émigrer au Canada pour échapper au service militaire. D'autres jeûnaient afin de passer au-dessous du poids minimum requis par l'armée. Cela me mettait dans une position quasi kafkaïenne : je pouvais continuer tranquillement mes études alors que mes amis couraient le risque d'être envoyés combattre dans mon pays ! Malgré cette situation on ne peut plus inconfortable, je n'ai jamais ressenti d'hostilité envers moi sur le campus. Chacun comprenait que nous étions des pions pris dans le tourbillon de l'Histoire et que la décision de faire la guerre ou la paix n'était pas de notre ressort direct.

En plus de l'opposition à la guerre, la société bourgeoise matérialiste était vilipendée, et les valeurs morales et les mœurs sexuelles remises en question. À travers le mouvement hippie revendiquant la libération des comportements, les jeunes issus en grande partie du baby-boom de l'après-guerre rejetaient les valeurs de leurs aînés et de la société de consommation qu'ils avaient bâtie. Ils vivaient en communautés, s'ouvraient à d'autres cultures (surtout venues d'Orient), expérimentaient avec des drogues de nouvelles perceptions sensorielles (l'art psychédélique est né de cela), prônaient le pacifisme (résumé dans la célèbre formule *Peace and Love*) et le retour à la nature, en une sorte de mouvement écologique avant l'heure. Ce fut aussi, avec le centre Esalen, l'émergence du développement du « potentiel humain » et les prémices du New Age. Bien que le mouvement hippie se soit vite dissous à cause de ses excès et de son manque d'organisation, son influence sur les mœurs de la société américaine fut profonde.

J'assistais, éberlué, à tous ces changements. Mais j'en étais plutôt spectateur qu'acteur. La petite taille de Caltech – moins d'un millier d'étudiants de licence ou *undergraduates* – était peu propice à l'activisme politique et social. On y était comme dans une tour d'ivoire, dans une sorte de havre tranquille au milieu de la tempête. Et puis, même si j'avais voulu m'engager politiquement, le temps m'aurait manqué : en plus de mes études, j'avais à apprendre la langue du pays et à compléter la bourse que Caltech m'avait octroyée par maints petits boulots.

Apprendre à chercher

Quand j'ai eu terminé mon *bachelor* en juin 1970, je me suis naturellement demandé où aller m'inscrire pour mon Ph. D. (doctorat), indispensable pour poursuivre dans la voie que je m'étais tracée. Cette thèse serait en quelque sorte le sésame pour entrer dans le club très fermé des chercheurs. J'aurais pu rester à Caltech pour faire cette thèse, mais mes professeurs me conseillèrent d'aller à l'université de Princeton : non seulement j'y rencontrerais d'autres grands esprits, mais cela m'ouvrirait à de nouvelles façons de penser et de pratiquer la recherche.

Aux États-Unis, les deux premiers centres astronomiques sont Caltech et Princeton. Caltech, sur la côte ouest, est un grand centre d'observation grâce à ses télescopes exceptionnels et à son ciel dégagé, tandis que Princeton, sur la côte est, qui ne possédait aucun grand télescope à cause d'un ciel le plus souvent nuageux, s'était surtout fait un nom dans la théorie. Il faut savoir qu'il y a deux grandes catégories d'astronomes : les observateurs et les théoriciens. Les premiers, qui scrutent le ciel avec des télescopes, fournissent la base expérimentale de l'astronomie, et ils utilisent ensuite les modèles des théoriciens pour interpréter leurs observations. Les seconds ne regardent pas directement le ciel, mais, à grands coups d'équations et avec l'aide d'ordinateurs, concoctent des théories pour expliquer les phénomènes du ciel découverts par les observateurs. Après avoir goûté à l'astronomie observationnelle à Caltech, j'avais envie de voir son autre face. Sans compter que Princeton me ramènerait sur les pas d'Einstein. J'ai donc entassé mes quelques affaires dans la voiture d'un ami qui allait aussi à Princeton, et nous avons traversé tous les deux les États-Unis, faisant ici et là quelques détours et arrêts pour admirer la magnifique et grandiose nature américaine, tels Monument Valley (je suis un grand admirateur des westerns de John Ford) ou le Grand Canyon.

J'ai passé quatre années fructueuses à Princeton, de 1970 à 1974, à faire mes premiers pas dans la recherche et à rédiger ma thèse. C'est pendant cette période que je suis devenu un astrophysicien à part entière. J'ai particulièrement apprécié la philosophie de l'enseignement qui était dispensé dans cette université. Au lieu de consacrer de longues années à n'approfondir qu'un seul sujet d'étude, comme c'est le cas dans de nombreuses universités, l'étudiant est encouragé à en explorer plusieurs. Il est ainsi confronté à la grande

diversité de la recherche, il peut aiguiser son esprit sur des sujets différents, ce qui lui évite une spécialisation trop étroite. Un des grands fléaux de la science moderne est en effet l'extrême cantonnement de certains chercheurs qui savent tout sur presque rien. Le but essentiel de notre formation princetonienne n'était pas tant d'apporter tout de suite des réponses que de savoir poser les bonnes questions, car en science un problème bien posé est un problème déjà à moitié résolu. Nous apprenions à réfléchir. Il ne s'agissait plus de répéter ce que d'autres avaient déjà découvert, mais de créer nous-mêmes de nouveaux savoirs.

Je connus pour la première fois le sentiment enivrant d'explorer par l'imagination des contrées vierges où nul ne était aventuré auparavant. J'ai en mémoire les longues discussions au tableau avec mes professeurs, pendant lesquelles j'ai appris par osmose comment poser, attaquer et résoudre un problème. Pendant les trois premières années, j'ai ainsi étudié l'évolution dynamique des amas globulaires (des ensembles sphériques de centaines de milliers d'étoiles liées par la gravité), l'évolution chimique des galaxies (comment ces dernières s'enrichissent en métaux lourds au fil du temps par l'alchimie nucléaire de générations successives d'étoiles). Je n'avais pourtant pas rompu entièrement avec les observations, puisque je suis revenu une fois au mont Palomar avec un de mes professeurs pour étudier, grâce au télescope de cinq mètres, le mouvement des étoiles dans le noyau de la galaxie Andromède. Ce fut un grand bonheur de renouer un contact intime avec le ciel.

À la fin de la troisième année, il était temps de choisir un directeur de thèse. Sans hésitation, j'allai frapper à la porte de Lyman Spitzer, le directeur du département d'astronomie de Princeton à cette époque. Il accepta de superviser mon travail de thèse à condition qu'il portât sur le milieu interstellaire. Il s'agissait là d'un brûlant sujet de recherche. L'espace entre les étoiles d'une galaxie n'est pas vide, mais héberge de la matière interstellaire invisible à nos yeux. La température moyenne de ce milieu est plus que frigorigène, de l'ordre de -173°C . Contenant en moyenne un atome d'hydrogène ou 10^{-24} gramme par centimètre cube, l'espace interstellaire est des dizaines de milliers de fois plus vide que le vide le plus perfectionné que nous puissions réaliser sur Terre. Or ce quasi-vide joue un rôle extrêmement vital dans l'écologie des galaxies, et ce pour plusieurs raisons. D'une part, compte tenu de l'immensité de l'espace (une galaxie s'étend sur une centaine de milliers d'années-lumière), la masse totale de matière entre les étoiles est malgré tout très importante – de l'ordre d'un dixième à la moitié de celle qui réside dans les étoiles elles-mêmes. D'autre part, cet espace interstellaire est par excellence le milieu où la matière est recyclée d'une génération d'étoiles à l'autre. Ainsi, c'est là que les

étoiles massives rejettent leurs débris enrichis d'éléments chimiques élaborés pendant leur vie, puis lors de leur agonie explosive. C'est également là que les lambeaux d'étoiles désintégrées se rassemblent, poussés par la gravité, pour donner naissance à de nouvelles générations d'étoiles.

Le télescope spatial Copernicus (du nom du chanoine polonais qui délogea la Terre de sa place centrale dans l'univers), fonctionnant dans l'ultraviolet, et que Spitzer avait spécialement conçu pour l'étude du milieu interstellaire, venait d'être mis avec succès en orbite en 1972, envoyant sur Terre une extraordinaire moisson d'informations. Il fallait un modèle pour en expliquer certaines. Ce fut le sujet de mon doctorat. À vrai dire, le thème exact de ma thèse ne m'importait que modérément. Ce qui m'enthousiasmait surtout, c'était d'avoir la chance de pouvoir travailler avec Spitzer. Sa grande réputation m'était parvenue jusqu'à Caltech et c'était en partie l'espoir de l'avoir comme directeur qui avait conduit mes pas à Princeton. Spitzer était un scientifique d'une trempe exceptionnelle. À l'instar de tous les grands, il possédait une intuition hors du commun concernant les phénomènes physiques et, comme Feynman, il connaissait généralement la réponse à un problème avant même de commencer les calculs. Il a contribué de manière fondamentale à la recherche dans trois domaines scientifiques différents : le milieu interstellaire, les amas globulaires (j'ai étudié leur évolution dynamique avec lui) et la physique des gaz très chauds (qu'on appelle « plasmas »).

Ce sont en partie ces dernières études qui furent à l'origine de la recherche sur la fusion nucléaire aux États-Unis et dans le monde, recherche qui se poursuit encore aujourd'hui dans le sud de la France, à Cadarache, avec le projet international ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). L'idée est de reproduire l'énergie des étoiles sur Terre. Ainsi, le Soleil brille et nous alimente en énergie en fusionnant quatre par quatre des noyaux d'hydrogène (ou protons) en noyaux d'hélium. Si nous pouvions la produire sur Terre, cette énergie de fusion serait une source d'énergie idéale, car sa production ne pollue pas et l'hydrogène est disponible en quantités quasi illimitées dans l'eau des océans qui recouvrent 70% de la surface de notre planète. Mais fusionner des protons requiert des températures qui dépassent dix millions de degrés Celsius. La matière chauffée à de telles températures, si elle n'est pas emprisonnée comme à l'intérieur d'une étoile, s'emballe et se disperse, et la fusion des noyaux ne peut s'accomplir. Le Soleil ne connaît pas ce problème, car sa masse fantastique produit une énorme gravité qui confine naturellement le plasma d'hydrogène surchauffé en son cœur. Pendant une remontée à ski à Aspen dans le Colorado, Spitzer eut soudainement l'idée de confiner le plasma par des champs

magnétiques. Son stratagème n'a malheureusement pas fonctionné, mais il a été le point de départ de la recherche de la fusion des plasmas dans le monde entier.

Le père du télescope spatial Hubble

Parmi les nombreux accomplissements de Spitzer au cours de sa longue et fructueuse carrière scientifique, le plus connu du grand public est sans doute le télescope spatial Hubble. Dès la fin des années 1940, Spitzer avait déjà conçu l'idée de mettre en orbite au-dessus de l'atmosphère terrestre un grand télescope pour étudier l'univers. Personne n'y croyait, car c'était une bonne quinzaine d'années avant le lancement du premier satellite artificiel, Spoutnik, en 1957. Il lui fallut des décennies pour convaincre la communauté astronomique de l'intérêt du projet et pour persuader le Congrès américain de le financer. Ses efforts finirent par payer. Depuis sa mise en orbite en 1990, Hubble n'en finit plus de nous envoyer des images aussi magnifiques que riches d'informations. Non seulement elles nous donnent accès à la splendeur d'un monde générateur d'émotions et de rêves qui enrichit notre imaginaire, mais elles font considérablement progresser notre connaissance de l'univers.

Le télescope Hubble est sans nul doute l'observatoire le plus grand et le plus complexe jamais envoyé dans l'espace. Son lancement fut un moment aussi décisif pour l'astronomie que celui où Galilée braqua la première lunette astronomique vers le ciel en 1609, ou que celui de la mise en orbite de Spoutnik autour de la Terre. D'un coût de neuf milliards de dollars (incluant celui de plusieurs missions de réparation du télescope avec la navette spatiale), c'est aussi l'un des instruments scientifiques les plus chers jamais construits. Aller au-dessus de l'atmosphère terrestre présente deux avantages : l'univers se révèle à travers toute sa palette de lumières (rappelons que l'atmosphère terrestre ne laisse passer que les lumières visible et radio), et, par ailleurs, le message lumineux qui vient du cosmos n'est plus déformé par la turbulence de l'atmosphère, nous permettant d'obtenir des images d'une parfaite netteté. Hubble nous permet ainsi de voir l'univers avec au moins dix fois plus de détails et trente fois plus de sensibilité que les plus grands télescopes au sol. De la taille d'une locomotive (treize mètres de long sur douze mètres de large quand les panneaux solaires sont déployés) et d'un poids de douze tonnes et demie, Hubble fait le tour de la Terre toutes les quatre-vingt-quinze minutes à une altitude de quelque six cents kilomètres.

Je l'utilise souvent. Bien sûr, la compétition pour disposer du télescope spatial est féroce. Je dois passer maintes journées à préparer et peaufiner ma demande, à réunir tous les arguments scientifiques

qui pourront convaincre un comité d'experts rassemblés par la NASA pour évaluer les demandes qui viennent du monde entier. Une note est assignée à chacune, et en général seules 15 à 20% d'entre elles se voient acceptées. Les candidats malchanceux devront attendre l'année suivante pour postuler de nouveau. Quant aux heureux élus, ils leur faudra préparer un programme informatique pour donner des instructions à Hubble (où pointer le télescope, pendant combien de temps, quel détecteur utiliser, etc.). Ce programme sera envoyé via Internet à la NASA, qui exécutera les observations. Une fois celles-ci effectuées, les données seront transmises au sol et traitées de façon préliminaire par la NASA puis envoyées à l'astronome concerné. Je peux ainsi visionner les observations de Hubble sur l'écran de mon terminal à l'université de Virginie. Inutile de dire que mon cœur bat la chamade chaque fois que j'en reçois, à l'idée de percer peut-être un nouveau secret de l'univers.

J'ai invariablement une pensée émue pour mon directeur de thèse, aujourd'hui décédé, lorsque je contemple un cliché de Hubble. La NASA n'a pas donné son nom au télescope spatial, voulant, à juste titre, d'abord honorer le découvreur des galaxies et de l'expansion de l'univers. Mais un autre grand télescope spatial fonctionnant dans l'infrarouge et lancé en 2003 porte aujourd'hui le nom de Spitzer.

En lui, j'ai eu la chance d'avoir une fois de plus un maître exceptionnel. Spitzer m'a appris à aiguiser mon intuition scientifique et à utiliser au mieux mon bagage technique pour affronter les problèmes en astrophysique. Je ne le voyais qu'une heure par semaine, car il était extrêmement pris par ses nombreuses occupations de directeur de département et ses multiples obligations dans des comités scientifiques nationaux et internationaux. Sans compter les innombrables voyages à Washington pour convaincre le Congrès de voter les fonds destinés au télescope spatial. Mais en une heure j'apprenais bien plus avec lui qu'en une semaine avec des scientifiques de moindre calibre. Après une année de travail acharné, j'ai soutenu ma thèse à Princeton en juin 1974.

L'appel du ciel

Quelle serait la prochaine étape ? Après un doctorat en astrophysique, on passe généralement deux années d'études postdoctorales à faire de la recherche. C'est la période idéale pour qu'un jeune chercheur mûrisse scientifiquement et commence à asseoir sa réputation dans son domaine. Il n'est plus étudiant, donc n'a plus à suivre de cours et à passer d'examens, et il n'est pas encore professeur, donc n'a pas encore à consacrer de longues heures à préparer des cours, à enseigner, à diriger des thèses, à assumer des tâches administratives et à participer à des comités scientifiques. Il peut se consacrer entièrement à son travail de recherche, ce qui ne se reproduira quasiment plus dans sa carrière.

Mais où poursuivre mon cursus ? Je venais de passer quatre années intenses à Princeton, à ne faire essentiellement que de la théorie. Ma thèse était fondée sur des calculs et modèles mathématiques. J'avais énormément appris, et ce fut, sans nul doute, une fantastique période de maturation intellectuelle. Mais, pour moi, l'astronomie ne pouvait se réduire à des équations, à des chiffres et à des concepts. Le contact direct avec le ciel me manquait. J'avais besoin d'être de nouveau émerveillé par la magnifique voûte étoilée qu'on ne voit que des observatoires haut perchés, loin des néons des villes, du bruit et de la fureur des hommes. J'avais envie de ressentir encore l'ineffable sensation de communion avec le cosmos pendant que la lumière du ciel se déversait dans mon télescope. Je voulais à nouveau littéralement frissonner à la pensée que les particules de lumière qui parvenaient jusqu'à mon télescope avaient commencé leur voyage intergalactique et interstellaire des milliards d'années auparavant, alors que les atomes constituant mon corps n'avaient pas encore été fabriqués par l'alchimie nucléaire d'une étoile. L'appel du ciel était si fort et irrésistible que j'acceptai la proposition de James Gunn, professeur d'astronomie à Caltech, qui m'offrait une bourse postdoctorale pour travailler avec lui en cosmologie.

La cosmologie m'a toujours passionné. À travers toutes les époques et dans toutes les cultures, face au monde qui l'entoure, l'homme a essayé de conjurer son anxiété, son angoisse des espaces infinis en l'organisant et en lui prêtant un visage familier. Cette organisation du monde extérieur, quand elle s'applique à l'univers tout entier, c'est cela qu'on appelle « cosmologie ». Une discipline qui consiste à se poser des questions sur le destin de l'univers, sur sa taille, sa forme et

son contenu depuis sa naissance jusqu'à sa mort. Je suis cosmologue quand j'essaie d'harmoniser des fragments d'informations en apparence aussi disparates que le lever et le coucher du Soleil, les phases de la Lune, le firmament étoilé, ou encore le changement des saisons au cours de l'année, de la chaleur moite de l'été aux teintes mauves et pourpres de l'automne, des morsures glaciales de l'hiver à l'épanouissement du printemps. En échafaudant ainsi un système d'idées cohérent pour expliquer le monde extérieur, en tant que membres d'une société et d'une culture données, nous créons un cosmos. Cet univers nous fournit un langage commun et contribue à la cohésion de notre société en nous imprégnant d'une même croyance en une origine et une évolution collectives. Mais cet univers que nous créons change selon les cultures et les époques.

Les systèmes cosmologiques se sont ainsi succédé à travers l'histoire, donnant naissance à des mythes aussi divers que les communautés humaines.

La cosmologie aujourd'hui ne repose plus sur des mythes nés de l'imagination des hommes, mais sur des observations bien précises. La notion d'une explosion de l'espace lors de la naissance de l'univers – le big bang – provient de la découverte du mouvement d'expansion du cosmos par Hubble en 1929. L'effet de cette explosion se perpétue aujourd'hui par le mouvement des galaxies qui se fuient les unes les autres. Pourtant, la théorie du big bang ne s'impose pas d'emblée. L'idée d'un commencement de l'univers, d'un instant pouvant être présenté comme celui de la « création », a alors trop de connotations religieuses. Quelques chercheurs proposent des théories alternatives, comme celle de l'univers stationnaire. Cette dernière reprend en quelque sorte l'idée de l'immutabilité des deux d'Aristote, selon laquelle l'univers est en tout temps semblable à lui-même, ne possédant ni commencement ni fin. Elle évacue la notion de « création » et rejette le changement et l'évolution inhérents à la théorie du big bang. Le coup de grâce porté à cette théorie (et à toutes les autres théories rivales du big bang) est asséné par la découverte en 1965 de la lumière fossile qui nous parvient de la nuit des temps, trois cent quatre-vingt mille ans après le big bang, par Penzias et Wilson. Parce que la théorie de l'univers stationnaire rejette l'idée d'un début chaud et dense, elle ne peut rendre compte d'un rayonnement fossile qui baigne l'univers entier.

L'irruption du rayonnement fossile dans la conscience des astrophysiciens marque un tournant décisif dans la pensée cosmologique moderne. Un changement de paradigme s'opère. Désormais, c'est la théorie du big bang qui devient la nouvelle représentation du monde. Il y a bien quelques cosmologues pour soutenir que « le big bang est un mythe, peut-être un merveilleux

mythe qui mérite une place d'honneur dans un zoo qui contiendrait le mythe hindou de l'univers cyclique, l'œuf cosmique chinois, le mythe biblique de la Création en six jours et bien d'autres^{4} ». Pour moi, la théorie du big bang est bien davantage. Elle a acquis les lettres de noblesse d'une science. Dotée d'une santé vigoureuse, elle a résisté jusqu'ici à de nombreuses attaques, et donne jusqu'à nouvel ordre la meilleure description de l'univers. Si, un jour, il fallait que le big bang soit supplanté par une théorie cosmologique plus sophistiquée, celle-ci devrait incorporer tous les acquis du big bang, de la même façon que la physique einsteinienne a dû intégrer tous les acquis de la physique newtonienne.

Retour dans mon pays en guerre

C'était décidé, je retournerais à Caltech pour faire de la cosmologie. Mais avant de retrouver le campus de la côte ouest, un voyage dans mon pays natal s'imposait. Depuis huit ans que j'avais quitté le Vietnam, je n'avais revu mes parents qu'une seule fois. Mon père ayant été nommé à la Cour suprême du Sud-Vietnam, on l'avait invité à visiter celle des États-Unis, accompagné de ma mère, et je les avais rejoints à Washington D. C. pour de brèves retrouvailles. Ma maigre bourse d'étudiant ne me donnait pas les moyens de prendre l'avion pour revenir au pays chaque été. Trop longtemps coupé de ma famille et de ma culture, il était temps, en cette année 1974, de renouer les liens. Je revis avec bonheur mes proches et les lieux familiers de mon enfance, sans parler du plaisir de déguster de nouveau la cuisine vietnamienne qui me manquait tellement aux - Unis. Cet été-là fut pour moi heureux, doux et paisible.

Malgré tout, une sourde angoisse m'étreignait le cœur. Après la signature du traité de Paris en 1973, les troupes américaines avaient quitté le pays. Certes, le gouvernement de Saigon paraissait solide. Son armée était forte d'un million d'hommes – quatre fois plus que les effectifs communistes au sud – et possédait un armement sophistiqué laissé par les Américains. Mon père m'assurait que le Sud-Vietnam était assez puissant pour repousser toute attaque communiste tant qu'il bénéficierait de l'aide économique et militaire (pas en hommes, mais en matériel) des États-Unis. De toute façon, me disait-il, l'Amérique ne pourrait jamais laisser le Sud-Vietnam tomber aux mains des communistes, elle interviendrait forcément en cas de danger. Je n'en étais pas si sûr. Vivant aux États-Unis, je savais bien que la population ne voulait plus entendre parler de mon pays, et que les hommes politiques n'avaient d'autre choix que de se plier à la volonté de leurs électeurs. Le Congrès américain vota une loi pour interdire les bombardements en Indochine, qui scella le désengagement des États-Unis vis-à-vis du conflit vietnamien. Le mois d'août 1974 vit aussi la démission de Richard Nixon, provoquée par le scandale du Watergate, et le nouveau président Gerald Ford s'avéra bien moins enclin à continuer de soutenir le régime de Saigon.

D'autre part, des difficultés économiques graves commençaient à affecter Saigon. En partant, les Américains avaient remporté avec eux tous leurs dollars. Les divers emplois et services qui dépendaient de leur présence (hôtellerie, bars, night-clubs, coiffeurs, tailleurs, emplois

dans les bases américaines, etc.) disparurent. Un pan tout entier de l'économie s'écroula, supprimant le gagne-pain d'environ deux millions de personnes. Sans compter que les paysans délogés de leur campagne par la guerre continuaient à affluer vers la capitale. Leur situation économique était encore plus précaire que celle des citadins et on pouvait voir des mendiants à presque tous les coins de rue. Aux abords des restaurants, des gamins affamés regardaient les clients manger puis se précipitaient sur les restes. Le fossé entre démunis et nantis se creusait de plus en plus. Cette situation était d'autant plus injuste que les efforts et les sacrifices imposés par la guerre retombaient plutôt sur les épaules des pauvres que sur celles des riches : ceux qui combattaient et se faisaient tuer se recrutaient parmi les fils de villageois et non parmi les fils à papa – les familles aisées ont toujours eu les relations nécessaires pour que leurs rejetons puissent éviter le service militaire. Pour ne rien arranger, le gouvernement Nguyen Van Thieu ne semblait avoir aucune stratégie claire pour contrer les communistes, ni aucune ligne de conduite déterminée pour galvaniser la population contre la menace du Viet-cong. Au contraire, la corruption était endémique, présente à tous les échelons du gouvernement, donnant à la population l'impression que les dirigeants du pays pensaient avant tout à se remplir les poches.

Ce contexte m'inquiétait profondément. Je me disais que la situation n'était pas tenable et je voyais difficilement comment le Sud pourrait résister aux attaques répétées du Nord. Je discutai avec mon père de la possibilité de me rejoindre aux Etats-Unis avec ma mère et ma sœur (mes trois autres sœurs étudiant à l'étranger), mais il ne voulut pas en entendre parler : il avait confiance dans le gouvernement et c'eût été pour lui un acte de lâcheté que de partir. Devant mon insistance, il répliqua : « C'est le plus sûr moyen de provoquer l'effondrement du pays, si tous les dirigeants prennent la fuite. Je dois rester fidèle à mon poste et assumer ma tâche jusqu'à la dernière minute. » Mais même dans mon pessimisme le plus intense et mes prévisions les plus noires, je ne pouvais pas deviner que, moins d'une année plus tard, le château de cartes allait s'effondrer complètement. Je ne pouvais me douter qu'un grand orage se préparait à l'horizon et que l'été 1974 serait le dernier de la République du Sud-Vietnam.

En avril 1975, le Nord-Vietnam envahirait le pays et mon père serait emprisonné dans un camp de « rééducation ».

À la recherche du futur de l'univers

Le cœur lourd d'avoir laissé les miens dans une situation aussi incertaine, mais revigoré par la chaleur familiale et l'air du pays, je retournai à Caltech, prêt à travailler avec James Gunn sur les mystères de l'univers.

Gunn avait un programme d'observation à Palomar pour mesurer la décélération de l'univers dans son mouvement d'expansion. Le raisonnement était le suivant : l'évolution de l'univers dépend en principe de l'issue du combat titanesque entre la force d'expansion primordiale et la force de gravité exercée par tout son contenu matériel. Parce que cette dernière est attractive, elle doit ralentir l'expansion de l'univers. En d'autres termes, l'univers doit décélérer. Plus la masse de l'univers est élevée, plus la gravité qu'elle exerce est grande, et plus la décélération sera importante. Une mesure précise du taux de décélération de l'univers nous aiderait donc à cerner son contenu matériel total, que cette matière soit lumineuse et visible ou non (la masse invisible est aussi appelée « masse noire »). D'autre part, cette connaissance nous permettrait aussi de prédire le futur de l'univers : l'expansion allait-elle se poursuivre indéfiniment, l'univers deviendrait-il infini (ou, comme on dit en langage de cosmologue, serait-il « ouvert ») ? Ou bien arrêterait-il son expansion pour s'effondrer un jour sur lui-même (hypothèse d'un univers « fermé ») en un big bang à l'envers, un *big crunch* ou « grand effondrement » ? Ce futur ne se lirait ni dans les cartes ni dans une boule de cristal, on ne le définirait qu'en mesurant le taux de décélération de l'univers. L'idée de pouvoir connaître l'avenir du cosmos me remplissait d'excitation.

Mais comment s'y prendre ? Si nous voulons mesurer la décélération de notre voiture quand nous appuyons sur le frein, il nous suffit de mesurer sa vitesse à deux instants distincts. La décélération est obtenue en divisant la différence des vitesses par l'intervalle de temps séparant les deux instants. De même, pour mesurer la décélération de l'univers, l'astrophysicien doit mesurer la vitesse d'expansion universelle à diverses époques. Bien sûr, les cent ans d'une vie humaine, les dizaines de milliers d'années de la civilisation humaine, voire les quatre ou cinq millions d'années écoulées depuis l'apparition de l'homme en Afrique, sont des laps de temps beaucoup trop courts pour que la décélération de l'univers soit perceptible et mesurable. Il nous faut donc observer la décroissance

de la vitesse d'expansion de l'univers sur un intervalle de temps qui s'étende au moins sur plusieurs milliards d'années. Cela veut dire que nous devons regarder très loin dans le passé. Est-ce possible ? Oui, car nous avons alors recours aux machines à remonter le temps que sont les télescopes, et appliquons le principe selon lequel « voir loin dans l'espace, c'est voir tôt dans le temps ». Pour obtenir la vitesse d'expansion de l'univers à différents instants de son existence, il nous suffit de mesurer la vitesse de fuite d'objets célestes situés à des distances différentes de la Terre. La vitesse de fuite d'objets distants nous donne la vitesse d'expansion de l'univers dans sa jeunesse, tandis que celle d'objets proches nous renseigne sur sa vitesse d'expansion actuelle. Si l'univers est en décélération, la seconde doit être inférieure à la première.

Quels objets célestes choisir pour nous servir de balises et mesurer l'évolution de la vitesse d'expansion de l'univers à travers le temps ? Pour remplir son rôle de balise, un objet doit nous fournir deux informations : sa vitesse de fuite et sa distance. La première quantité, la vitesse de fuite, n'est autre que la vitesse d'expansion de l'univers. Elle est relativement facile à obtenir. L'effet Doppler fait que la lumière d'un objet qui s'éloigne de nous vire vers le rouge en proportion de sa vitesse de fuite. Il suffit donc de décomposer la lumière de l'objet en ses différentes composantes colorées grâce à un spectroscope et de mesurer son déplacement vers le rouge pour déduire sa vitesse de fuite. Quant à la seconde quantité, la distance de l'objet, c'est une autre paire de manches ! Elle est pourtant essentielle, car une simple division de cette distance par la vitesse de la lumière va nous donner le laps de temps que nous avons pu remonter dans le passé de l'univers, et donc l'âge de l'univers correspondant à la vitesse d'expansion mesurée.

La mesure des distances des balises n'est pas des plus faciles. Tous les objets célestes sont en effet projetés pêle-mêle sur la voûte céleste qui nous apparaît en deux dimensions. Celle-ci ressemble à un vaste tableau où le peintre aurait oublié toute règle de perspective. Il revient à l'astronome de rétablir la troisième dimension : la profondeur cosmique. Pour déterminer la distance des balises, l'astronome va procéder comme le navigateur qui, pour jauger la distance de son navire au rivage, compare la brillance apparente du phare à sa brillance réelle (ou brillance « intrinsèque »), celle qu'il percevrait s'il était sur place (la brillance apparente varie comme la brillance intrinsèque divisée par le carré de la distance ; la connaissance des brillances apparente et intrinsèque permet donc de calculer la distance). De même, pour connaître la distance d'un objet céleste, l'astronome doit connaître sa brillance intrinsèque ; la mesure de sa brillance apparente lui permettra ensuite de déduire sa distance.

La stratégie est dès lors d'isoler une classe d'objets dont la brillance intrinsèque ne varie pas, ni dans le temps ni dans l'espace (dans le jargon astronomique, on les appelle des « bougies standard »). Trouver une telle classe de phares cosmiques dont la brillance intrinsèque reste constante n'est pas chose aisée, car la plupart des objets astronomiques ont fâcheusement tendance à évoluer, donc à varier un tant soit peu en brillance au cours de leur vie. Parmi la faune des objets astronomiques qui peuplent l'univers, les galaxies elliptiques géantes au cœur des amas semblaient toutes désignées pour jouer ce rôle de phares. De plus, elles brillent d'un feu intense et on peut les voir à de très grandes distances. Dans notre voyage vers le passé, elles permettent de remonter au moins jusqu'à la moitié de l'âge de l'univers, soit quelque sept milliards d'années en arrière. Pour traquer ces galaxies elliptiques dans leurs repaires les plus lointains, Gunn et moi organisâmes maintes expéditions au mont Palomar où le télescope de cinq mètres et les détecteurs électroniques qui y étaient attachés furent poussés jusqu'au bout de leurs possibilités.

Le succès de notre projet n'était possible que si la brillance intrinsèque des galaxies elliptiques géantes ne variait ni dans le temps ni dans l'espace. Or on sait aujourd'hui que ce n'est pas le cas et qu'elles évoluent en brillance au moins de deux manières. Les galaxies sont composées d'étoiles qui naissent, vivent et meurent, et qui par conséquent varient en brillance. La brillance de la galaxie, qui est la brillance intégrée de toutes les étoiles qui la composent, doit donc nécessairement diminuer au cours du temps. L'autre cause d'évolution des galaxies elliptiques géantes vient de leur prédisposition à dévorer leurs compagnes plus petites. Ce « cannibalisme galactique » fait que la plus grosse galaxie devient non seulement plus volumineuse mais aussi plus lumineuse à mesure que le temps passe. Parce que les galaxies elliptiques géantes ne sont pas des bougies standard, notre entreprise ne put aboutir. Mais quelle stupeur si nous avions réussi... car nous aurions découvert que l'expansion de l'univers, au lieu de décélérer, est au contraire en accélération !

Cette découverte extraordinaire a été annoncée en 1998 par deux équipes internationales d'astronomes. Voulant comme nous mesurer la décélération de l'univers, eux prirent pour balises non pas les galaxies elliptiques géantes mais des explosions de cadavres d'étoiles, des naines blanches, qui se détruisent dans de gigantesques événements thermonucléaires, appelées « supernovae de type Ia ». Et les deux groupes parvinrent, indépendamment l'un de l'autre, à une conclusion qui a pris tout le monde (ou presque) de court : l'univers a bien été en décélération, mais seulement pendant les sept premiers milliards d'années de son existence ; ensuite, l'expansion de l'univers, au lieu de continuer à décélérer, s'est mise au contraire à accélérer ! Comment

l'univers a-t-il pu passer ainsi d'une décélération à une accélération ? S'il contenait exclusivement de la matière, qu'elle soit visible ou invisible, celle-ci exercerait inévitablement une gravité attractive, et il devrait toujours décélérer. Pour rendre compte de son accélération, force est donc de postuler l'existence dans l'univers de quelque chose d'autre que la matière (ou la lumière) qui exercerait une force répulsive supérieure à la force attractive de la matière. Faute de plus d'informations et pour dissimuler leur ignorance, les astrophysiciens ont appelé ce quelque chose « énergie noire ».

Voilà donc ce que nous pouvons dire aujourd'hui, et que nous étions bien loin d'imaginer quand nous faisons nos observations à Caltech : tout ce que nous voyons briller dans le ciel, la matière lumineuse dans les cent milliards de galaxies de l'univers observable, chacune contenant cent milliards de soleils, ne représente que 0,5% du contenu total de l'univers ! La plus grande partie du reste n'émet aucune sorte de lumière et est constituée d'énergie noire (74%) de nature encore inconnue, et de matière noire dite « exotique » (22%) dont l'identité est tout aussi mystérieuse. On suppose que cette dernière est composée de particules massives nées dans les premières fractions de seconde du big bang. La matière « ordinaire », faite d'atomes, celle qui nous constitue, ne représente que 4%, dont 0,5% de matière lumineuse et 3,5% de matière noire (probablement du gaz d'hydrogène froid dans l'espace intergalactique et chaud dans les amas de galaxies). Notre univers est donc comme un immense iceberg dont nous voyons seulement une très petite partie émerger. Mais il y a une différence fondamentale entre l'iceberg et l'univers : si nous savons de quoi est faite la masse immergée de l'iceberg, la nature de l'énergie noire et de la masse noire reste un formidable défi pour l'esprit humain. En d'autres termes, nous n'avons aucune idée de 96% du contenu de l'univers ! Le renard de Saint-Exupéry ne croyait pas si bien dire quand il confiait au Petit Prince : « L'essentiel est invisible pour les yeux. »

À cause de la force répulsive de l'énergie noire, l'univers connaîtra une expansion éternelle. L'humanité future – si tant est qu'elle puisse perdurer des milliards d'années, ce qui est bien peu probable – échappera au sentiment de claustrophobie qu'engendrerait un univers « fermé » qui se contracterait sous son propre poids et se rétrécirait toujours plus. Nos descendants ne verront pas les galaxies et les étoiles se rapprocher les unes des autres, fusionner, perdre leur identité, et se volatiliser en lumière et en particules dans un tumulte de détonations nucléaires. Ils ne verront pas disparaître la nuit, remplacée par la lumière aveuglante d'un univers trop chaud et trop dense. Ils ne périront pas dans un brasier infernal...

En revanche, l'univers sera de plus en plus dilué par l'accélération

cosmique. L'espace s'agrandira si vite que plus aucune particule ne pourra s'assembler à d'autres, ni aucune structure se former. Quand l'horloge cosmique sonnera quelques dizaines de milliards d'années (rappelons que l'univers actuel a un âge de 13,7 milliards d'années), la Voie lactée ne sera plus qu'un îlot perdu dans la vaste immensité du cosmos. Les centaines de milliards de galaxies maintenant accessibles à nos télescopes se seront tellement éloignées que nous ne pourrons plus les voir. Seules resteront visibles les centaines de galaxies appartenant au superamas de la Vierge, dont la Voie lactée fait partie. Et les études astronomiques que nos lointains descendants pourront alors entreprendre seront extrêmement limitées, car il y aura très peu d'objets à observer dans le ciel.

Mesurant ma chance de vivre à une époque où tant de mystères subsistaient encore et surtout d'avoir accès à des instruments sophistiqués et performants qui me permettaient de m'y attaquer, je ne vis pas passer les deux années d'études postdoctorales à Caltech, de 1974 à 1976. De nouveau, comme avec Spitzer, le destin avait mis sur mon chemin un mentor exceptionnel. James Gunn était extraordinairement doué. J'étais éberlué par sa faculté à passer des concepts les plus abstraits et ardues, des équations les plus compliquées à la construction de détecteurs électroniques ultrasophistiqués. En général, comme je l'ai expliqué, l'astrophysicien est soit observateur, soit théoricien, soit instrumentaliste. Gunn, lui, portait les trois casquettes à la fois. On était bien loin du scientifique d'antan qui pensait que mettre la main à la pâte était indigne d'un grand professeur. En outre, marque des grands, lui aussi était doué d'une intuition hors du commun en ce qui concernait l'astrophysique.

En plus de mon travail sur la décélération de l'univers et des nombreux voyages à Palomar que cela nécessitait – pour mon plus grand bonheur ! -, j'utilisais aussi le grand ordinateur sur le campus pour calculer des modèles de galaxies. L'ordinateur joue en effet un rôle très important en astrophysique. Faute de pouvoir expérimenter en laboratoire comme le feraient un chimiste ou un biologiste, l'astrophysicien fait des expériences numériques avec un ordinateur puissant qui permet de simuler et d'étudier l'évolution des structures. Étoiles, galaxies, amas et superamas de galaxies, univers, l'ordinateur est capable de produire autant de modèles de galaxies ou d'univers que vous lui en demandez. Dès qu'il a un problème, l'astrophysicien s'en va donc questionner l'ordinateur comme un prêtre de l'Antiquité s'en allait interroger l'oracle de Delphes.

Un problème en particulier me trottait dans la tête : comment expliquer les différents types de galaxies dans l'univers ? Celles-ci se répartissent en effet en trois catégories principales. Viennent d'abord les « spirales » – ainsi appelées parce qu'elles exhibent de jolis bras

spiraux – qui hébergent à la fois des étoiles jeunes et vieilles. Notre Voie lactée en est une. Dans les galaxies spirales, les jeunes étoiles viennent au monde parmi des pouponnières stellaires résidant le long des bras spiraux, dans un disque aplati d'environ cent mille années-lumière de diamètre, et coexistant avec des nuages de gaz et de poussière. Les étoiles vieilles résident quant à elles dans une sorte de halo ellipsoïdal entourant le disque. Il y a ensuite les galaxies « elliptiques » qui ne possèdent généralement ni disque, ni pouponnière d'étoiles, ni gaz, ni poussières. Dans la dernière catégorie, sorte de fourre-tout, on range toute galaxie qui n'est ni spirale ni elliptique, qu'on baptise « galaxie irrégulière ».

Pourquoi existait-il une telle dichotomie entre les galaxies spirales et elliptiques quant à leurs populations stellaires ? En calculant des modèles de galaxies, la réponse m'apparut claire comme le jour : la forme finale des galaxies doit dépendre de la capacité des embryons galactiques à convertir en étoiles la matière gazeuse composée de gaz d'hydrogène et d'hélium fabriqué dans le big bang. Certains embryons sont si efficaces que tout leur gaz a été converti rapidement (en moins d'un milliard d'années) après le big bang : ils sont devenus des galaxies elliptiques, n'ayant plus de gaz et ne contenant que des étoiles vieilles, nées il y a quelque treize milliards d'années. D'autres embryons, moins efficaces, ne sont parvenus à transformer en étoiles qu'environ 80% de leur masse gazeuse pendant le premier milliard d'années, les 20% du gaz qui restent se disposant en un disque mince et aplati qui tourne sur lui-même environ tous les deux cents millions d'années, et ce disque gazeux continuant à se convertir en étoiles le long de bras spiralés à un rythme beaucoup plus lent, processus qui dure encore aujourd'hui, 13,7 milliards d'années après le big bang : ce sont les galaxies spirales. D'autres embryons encore, franchement inefficaces, prennent tout leur temps pour convertir leur gaz en étoiles ; après 13,7 milliards d'années, leur masse gazeuse est toujours supérieure à leur masse en étoiles : il s'agit des galaxies irrégulières. Pourquoi les embryons de galaxies varient-ils tant dans leur capacité à transformer la matière gazeuse en étoiles ? Il semble bien que cela soit lié à leur densité initiale. Pour des embryons galactiques très denses, ceux qui vont devenir des galaxies elliptiques, le gaz, plus comprimé et plus chauffé, se convertit plus facilement en étoiles. Pour des embryons galactiques moins denses, qui vont devenir des galaxies spirales (et irrégulières), le gaz, moins comprimé, met plus longtemps à opérer cette mutation.

Mauvaises nouvelles du Vietnam

Pendant cette période très remplie professionnellement, les événements continuaient à s'accélérer au Vietnam, me causant de plus en plus d'inquiétude. Nous étions au début du mois de mars 1975. La presse avait annoncé que d'importantes troupes nord-vietnamiennes avaient franchi le 17^e parallèle, divisant le pays en deux, pour entrer dans le Sud-Vietnam et lancer une grande offensive. Dans mon appartement de Pasadena, je restais des heures collé à l'écran de télévision, suivant avec effarement les nouvelles alarmantes. Jour après jour, les bulletins d'information étaient de plus en plus catastrophiques : les troupes du Nord déferlaient dans la partie nord du pays, les villes du centre – Hué, Da Nang – tombaient les unes après les autres presque sans aucune résistance, d'innombrables réfugiés se jetaient sur les routes pour tenter de fuir les combats, la structure militaire du Sud s'effondrait, les troupes ennemies avançaient implacablement, occupant en moins de deux mois les deux tiers du pays. Puis ce fut la grande débâcle : les soldats du Nord aux portes de la capitale, le dernier bastion qui se rendait, la panique indescriptible qui s'emparait des habitants de Saigon. Et j'étais sans nouvelles de ma famille ! Une semaine avant la prise de la ville, j'avais essayé de contacter mes parents par téléphone pour les presser de partir, en vain. Le réseau téléphonique était complètement saturé, car tous les Vietnamiens expatriés tentaient de joindre leurs proches.

Mort d'inquiétude quant au sort de ma famille, j'assistais, impuissant, au déroulement inexorable des événements. L'image du char viet-cong défonçant la grille du palais présidentiel et celle du drapeau jaune et rouge flottant sur l'édifice resteront à jamais gravées dans ma mémoire. Je me souviendrai toujours des scènes de panique dans les rues de la capitale en ce jour fatidique du 30 avril 1975. Des personnes couraient dans tous les sens, cherchant à quitter Saigon par tous les moyens avant l'arrivée des communistes. L'aéroport était déjà tombé aux mains de l'ennemi. À moins d'embarquer sur un bateau vétuste, avec tous les risques que cela comportait, le seul espoir qui restait, c'étaient les hélicoptères américains. Une foule énorme convergea donc vers l'ambassade des États-Unis. Des appareils, dans un ballet incessant de va-et-vient, transportèrent des milliers de ressortissants américains et de civils vietnamiens associés à l'ancien régime jusqu'à des porte-avions américains stationnés au large, en mer de Chine – ce fut la plus grande évacuation par hélicoptères de

l'histoire. Autour de l'ambassade, des milliers de Vietnamiens désespérés tentaient de grimper par-dessus le mur hérissé de barbelés qui entourait la bâtisse, dans l'espoir d'être, eux aussi, évacués. Le chaos était indescriptible. Les gens s'accrochaient tant bien que mal aux appareils tandis que les GI s'efforçaient de les repousser à coups de crosse de fusil pour pouvoir décoller.

Trente années de guerre ininterrompue s'achevaient ainsi. Une fin bien triste et peu glorieuse de l'aventure américaine au Vietnam. La réunification du pays qui aurait dû survenir dix-neuf ans plus tôt, en 1956, si les États-Unis avaient accepté d'organiser des élections générales sur tout le territoire, se fit au prix d'immenses souffrances, d'innombrables morts et d'incommensurables destructions.

Cette première « défaite » dans l'histoire américaine causa un profond traumatisme aux Etats-Unis. Depuis le début, les Américains n'avaient pas compris que la guerre menée par Ho Chi Minh était davantage motivée par le nationalisme – il fallait à tout prix chasser les étrangers – que par l'attrait du communisme. Ho Chi Minh s'était avant tout tourné vers les Soviétiques et les Chinois non pas par idéologie, mais parce qu'il avait besoin d'aide militaire et économique pour appuyer son combat anticolonialiste contre les Français. Il avait aussi lorgné du côté de Washington, et je me demande souvent comment les événements auraient tourné si les Américains avaient accepté de le soutenir. Mais une telle chose était impensable pour eux, car la France était un pays allié qui se remettait alors à peine des ravages de la Seconde Guerre mondiale. L'autre grande erreur américaine fut de penser qu'il suffisait d'importer les valeurs démocratiques, sans tenir compte d'une culture millénaire, pour qu'elles fleurissent sur le sol vietnamien. La démocratie s'apprend, se cultive et doit s'adapter à la culture locale. Malheureusement, la leçon du Vietnam n'a pas été retenue, comme en témoigne l'invasion de l'Irak en 2003.

Pendant que les terribles images de la chute de Saigon défilaient devant mes yeux, une question lancinante me hantait : mes parents et ma sœur avaient-ils pu quitter le pays ? J'étais très inquiet car toute la presse prédisait des repréailles sans pitié contre les fonctionnaires et collaborateurs de l'ancien régime en cas de victoire du Viet-cong.

Mon père, président de la Cour suprême, l'un des plus hauts fonctionnaires de l'Etat, était particulièrement exposé. Lors de ma visite pendant l'été 1974, quand j'avais abordé cette question, il m'avait assuré qu'il n'y avait rien à craindre : l'ambassade américaine lui avait garanti qu'on l'évacuerait avec ma mère et ma sœur si la situation venait à se dégrader. Pour plus de sûreté, j'avais également demandé au président de Caltech, qui avait des contacts à Washington, d'intervenir et de contacter l'ambassade américaine à

Saigon. Je ne sus jamais si son message arriva à bon port. En tout cas, pendant d'interminables semaines, je restai sans nouvelles de ma famille. Toutes les communications étaient interrompues. J'étais mort d'angoisse. La télévision montrait des scènes effroyables de *boat-people* fuyant par la mer, entassés dans des embarcations de fortune souvent bien précaires pour braver les tempêtes et les pirates qui sévissaient au large, dans l'espoir d'être recueillis par un navire étranger. Je me demandais, le cœur serré, si ma famille était parmi ces infortunés.

La mauvaise nouvelle arriva par une lettre de ma mère : le 30 avril, mon père s'était bien rendu à l'ambassade américaine afin d'être évacué, mais le chaos et la confusion étaient tels et la foule si dense qu'il n'avait pu se frayer un chemin jusqu'aux grilles du bâtiment. Le Viet-cong s'était emparé de notre demeure à Saigon (rebaptisée immédiatement Ho Chi Minh-Ville par les vainqueurs), et ma mère et ma sœur avaient été confinées dans une pièce, le reste de la maison étant attribué à d'autres familles. Mon père avait été emprisonné par les communistes dans un camp de « rééducation », sorte de goulag à la vietnamienne. Âgé alors de soixante-deux ans, il allait y passer trente-deux mois terribles : travail manuel extrêmement dur dans les rizières, autocritique journalière pour « avouer les crimes » commis contre l'État communiste, lavage de cerveau et apprentissage du marxisme-léninisme, conditions hygiéniques déplorables et, pour seule nourriture, un bol de riz par jour. Au contraire du Cambodgien Pol Pot et de ses Khmers rouges, les *communistes vietnamiens n'éliminèrent* pas de sang-froid tous les intellectuels et dirigeants de l'ancien régime d'une balle dans la tête, ils les emprisonnèrent dans des camps, dans de telles conditions que cela équivalait à les faire mourir à petit feu. Parmi les collègues juges de mon père qui subirent le même sort, une grande majorité moururent de malnutrition et de maladie, et lui-même en sortit dans un état pitoyable.

Thomas Jefferson et l'université de Virginie

En dépit de ces événements tragiques, ma vie de scientifique suivait son cours. Mes deux années d'études postdoctorales touchant à leur fin, il était temps de penser à la prochaine étape. La voie royale consistait à devenir professeur dans une bonne université. Pour continuer à faire de la recherche, il fallait enseigner, car les deux activités sont étroitement liées aux États-Unis. Au contraire du système français où elles peuvent être séparées, il existe très peu d'organismes comme le CNRS aux États-Unis où le scientifique peut se consacrer exclusivement à ses travaux. La philosophie sous-jacente du système américain est qu'un bon chercheur, au courant des derniers développements dans son domaine, est un meilleur enseignant. D'une part, en prenant des étudiants comme thésards, il prépare les chercheurs de la prochaine génération à reprendre en quelque sorte le flambeau. D'autre part, les thésards, en effectuant des tâches que le professeur n'a pas toujours le temps de faire – analyser des données ou composer un programme informatique –, aident ce dernier à faire avancer ses travaux tout en apprenant les mécanismes de la recherche. Chacun y trouve son compte.

Je consultai la liste des postes de professeurs disponibles pour la rentrée académique de septembre 1976, et soumis ma candidature à plusieurs universités. Les quelques mois qui suivirent furent particulièrement angoissants. Hanté par le sort de ma famille, je vécus d'autant plus durement l'attente d'un courrier qui déciderait de mon avenir professionnel. Bien heureusement, je reçus des réponses positives de la part de l'université de Chicago, de l'université du Texas à Austin et de l'université de Virginie.

Mon choix se porta finalement sur cette dernière, située à Charlottesville. Plusieurs raisons m'y poussèrent. Son département d'astronomie était composé de jeunes chercheurs, il n'y avait pas de grand ponté et je voyais donc l'opportunité de m'y épanouir scientifiquement en toute liberté, sans être dans l'ombre d'une quelconque sommité. Autre facteur déterminant : le quartier général du National Radio Astronomy Observatory, l'Observatoire national de radio-astronomie, était sur le campus. Cet observatoire que financent des fonds alloués par le Congrès américain possède les plus grands radiotélescopes du monde. En particulier, le Very Large Array, sur un plateau du Nouveau-Mexique, composé de vingt-sept télescopes de vingt-cinq mètres de diamètre chacun, en chantier à l'époque. À sa

mise en opération, qui était prévue en 1980, il serait le plus puissant radio-interféromètre du monde. Je me disais qu'étant à proximité du NRAO, je pourrais utiliser leurs puissants engins pour mes études astronomiques.

Le troisième facteur, d'ordre plus personnel, a plutôt à voir avec mes affinités historiques et mes inclinations philosophiques. L'université de Virginie fut fondée par Thomas Jefferson, le troisième président des Etats-Unis. Or Jefferson est sans nul doute mon héros intellectuel américain. Principal auteur de la Déclaration d'indépendance de 1776, homme des Lumières et homme d'Etat, il œuvra sans relâche pour défendre les droits de l'homme dans son pays et donner une base politique solide à la jeune nation dont il fut l'un des pères fondateurs. Résolument francophile, ami du marquis de La Fayette, il s'inspira des écrits de Montesquieu et de Rousseau pour la rédaction de la Déclaration d'indépendance, et résida comme ambassadeur des États-Unis à Paris de 1785 à 1789, fréquentant d'Alembert et Condorcet, et assistant aux derniers soubresauts de la monarchie et aux premiers épisodes de la Révolution française. Elu à deux reprises président des Etats-Unis, c'est Jefferson qui, pendant son premier mandat présidentiel, négocia avec Napoléon I^{er} le rachat de la Louisiane française pour une somme modique, doublant ainsi la superficie des Etats-Unis. Rien ne laissait Jefferson indifférent : architecture, linguistique, musique, archéologie, botanique, géographie, œnologie (il fut le premier à cultiver la vigne en Virginie pour produire son propre vin, mais l'expérience fut peu concluante), agronomie ou sciences (dont l'astronomie) et techniques, cet esprit universel toucha à tout.

Convaincu des vertus de l'éducation, il fonda l'université de Virginie en 1819, près de sa résidence de Monticello où il passait sa retraite, pour former les leaders de la prochaine génération. Il dessina lui-même les plans de l'établissement qu'il concevait comme un « village académique » où professeurs et étudiants vivraient en communauté, unis par le même appétit de savoir et de connaissance. C'était la première université publique aux États-Unis n'ayant aucun lien avec l'Église. La légende dit que, du haut de sa montagne, Jefferson aimait regarder avec son télescope les étudiants déambuler sur le campus. Sur sa tombe à Monticello, on peut lire cette épitaphe rédigée par lui-même :

« Ici repose Thomas Jefferson, Auteur de la Déclaration d'indépendance des États-Unis Auteur de la loi sur la liberté religieuse en Virginie Fondateur de l'université de Virginie. »

Nulle mention n'y est faite de ses deux mandats de président.

Malgré toute mon admiration pour Jefferson, je dois mentionner une zone d'ombre de sa vie qui m'a toujours perturbé : son attitude vis-à-vis de l'esclavage. Cet homme politique éclairé, auteur de ces lignes immortelles : « Tous les hommes sont créés égaux ; ils sont doués par le Créateur de certains droits inaliénables ; parmi ces droits se trouvent la vie, la liberté et la recherche du bonheur » figurant dans la Déclaration, a pourtant toujours employé des esclaves noirs dans son domaine de Monticello. Pis, après la mort de sa femme, il aurait entretenu une liaison secrète avec une esclave, Sally Hemmings, qu'il n'émancipa jamais de son vivant, et avec qui il aurait eu plusieurs enfants. Tout homme des Lumières qu'il ait été, Jefferson n'eut pas, en fin de compte, ni dans sa vie publique ni dans sa vie privée, le courage politique de s'élever contre l'esclavage.

L'idée de travailler sur le campus de Jefferson, de me repaître chaque jour de sa beauté architecturale et de me promener parmi les colonnes palladiennes dans le « village académique » n'était pas pour me déplaire. De plus, pour le féru d'histoire que je suis, évoluer dans ce haut lieu me convenait bien. Issu de la culture millénaire du Vietnam, imprégné d'une autre culture tout aussi ancienne, celle de la France, j'éprouvais un sentiment mitigé à vivre dans une nation dont l'histoire n'avait commencé qu'en 1776 (si on exclut celle des Indiens d'Amérique). Bien sûr, j'étais conscient des avantages certains d'un pays neuf. Le dynamisme et le manque de structures sociales rigides aux États-Unis, qui encouragent la créativité et l'innovation, et qui permettent à un homme de se définir par ses actes et ses accomplissements plutôt que par ses origines, sont autant de facteurs qui m'ont attiré vers les universités américaines et qui me retiennent sur ce territoire. Mais la sophistication et le vernis d'une culture ancienne me manquaient aussi. J'étais donc ravi de pouvoir aller travailler dans une université qui avait plus de cent cinquante ans (une éternité dans l'histoire américaine !) et dont le fondateur avait joué un rôle aussi important dans la nation. Bien que Jefferson se soit éteint il y a plus de cent quatre-vingts ans, son esprit est toujours très présent sur le campus, et les étudiants parlent de « Monsieur Jefferson » comme s'il était encore à leurs côtés.

J'ai passé plus de trente ans – plus de la moitié de ma vie – sur le campus de M. Jefferson. J'ai assisté à une métamorphose profonde de l'université qui, dans les années 1950 et 1960, n'était encore qu'un campus endormi fréquenté surtout par les fils de la bourgeoisie fortunée du Sud, et qui n'admit son premier étudiant noir qu'en 1950 et les femmes qu'à partir de 1970. Heureusement, grâce à une bonne gestion des finances et à une politique de recrutement de professeurs de haut niveau, elle s'est muée en un établissement de réputation internationale, avec des standards académiques rigoureux, qui attire

de nos jours des enseignants et des étudiants de tous les États-Unis et de nombreux pays du monde. Elle est considérée aujourd'hui comme l'une des premières universités publiques aux États-Unis. Au palmarès national, toutes universités confondues, elle se situe au vingt-cinquième rang ; les universités privées comme Harvard ou Princeton occupant les premières places grâce à leurs moyens considérables.

Pourquoi l'Amérique ?

Un autre événement me rattache à Jefferson. En raison de la disparition de mon pays, le Sud-Vietnam, mon passeport vietnamien n'avait plus aucune valeur. Devenu apatride, pour voyager et continuer à travailler aux États-Unis, j'ai dû demander le statut de réfugié politique, puis celui de résident permanent et enfin postuler pour obtenir la nationalité américaine. Le 4 juillet 1981, jour de la fête nationale, j'ai été naturalisé lors d'une cérémonie émouvante à Monticello, la demeure de Jefferson à côté de Charlottesville. Je ne pouvais rêver d'un endroit plus symbolique et plus approprié pour devenir un citoyen américain à part entière.

J'éprouvais un profond sentiment de reconnaissance à l'égard de mon pays adoptif qui m'avait accueilli après la tourmente politique et militaire qu'avait traversée le Vietnam. Mon père emprisonné dans un camp de « rééducation », il était hors de question que je retourne vivre sur ma terre natale. Fils d'un haut fonctionnaire de l'ancien gouvernement du Sud, je risquais de perdre ma liberté si je remettais les pieds là-bas, du moins pendant la période dure, de 1975 jusqu'au début des années 1990, qui a suivi la réunification du pays. Du reste, vivre sous un régime communiste ne me disait rien qui vaille. Même si le Sud-Vietnam était loin d'être une vraie démocratie, je disposais tout de même d'une certaine liberté personnelle pendant mon enfance et mon adolescence. J'avais surtout trop goûté à la plénitude des droits et libertés pendant mes années passées en Amérique et mes fréquentes visites en France pour pouvoir revenir en arrière. Devenir citoyen américain signifiait que je pourrais participer à la vie politique du pays et exercer mes droits démocratiques en choisissant les responsables qui affecteraient directement ma vie. Car la guerre du Vietnam m'avait appris que, dans une démocratie digne de ce nom, si le président n'a plus le soutien du peuple, il doit changer de politique, aussi puissant soit-il.

D'autre part, j'avais acquis toute ma science en Amérique, et où aurais-je pu pratiquer l'astrophysique au plus haut niveau, dans de meilleures conditions ? L'Amérique dominait le monde dans beaucoup de domaines, et en particulier en science. Les nombreux scientifiques européens, en grande majorité d'origine juive, chassés par l'antisémitisme nazi et réfugiés aux États-Unis, qui avaient trouvé des emplois dans les départements de physique et d'astrophysique des grandes universités américaines, avaient déplacé le centre de gravité

de la science mondiale de l'Europe vers l'Amérique. Ces réfugiés avaient ensuite formé une jeune génération de physiciens américains qui avaient pris la relève. D'autre part, consciente très tôt que sa puissance économique et militaire dépendait étroitement de sa domination scientifique et technologique, l'Amérique avait investi considérablement dans ces domaines. Autre circonstance favorable : après la fabrication de la bombe atomique, les physiciens qui avaient acquis un prestige considérable auprès des politiciens pouvaient devenir des lobbyistes efficaces pour le financement de leurs recherches. Les entreprises industrielles s'étaient également mises de la partie : elles finançaient aussi bien la recherche appliquée que fondamentale, se rendant compte qu'elles étaient intrinsèquement liées, et que sans cette dernière les innovations techniques se tarissaient. Un exemple frappant est celui de la compagnie téléphonique Bell : c'est dans ses laboratoires que s'est accomplie une grande partie de la recherche fondamentale qui a permis la fabrication des lasers et autres masers, ce qui a valu à l'entreprise plusieurs prix Nobel de physique. Enfin, il existait dans le pays une vraie tradition philanthropique, stimulée sans doute par des lois fiscales favorables aux donations, qui poussait les magnats de l'industrie à financer la recherche fondamentale dans les domaines qui les intéressaient personnellement. C'est ainsi que Andrew Carnegie, magnat de l'acier, et John Rockefeller, fondateur de la Standard Oil, subventionnèrent les plus grands télescopes de leur temps.

Outre ces considérables sources de financement de la science en général – et de l'astronomie en particulier – condition sine qua non pour qu'elle prospère, un autre facteur déterminait mon choix de l'Amérique : la conquête spatiale. L'essor de la NASA fut extrêmement bénéfique pour l'astronomie. L'exploration du système solaire par les sondes spatiales commença à battre son plein à partir des années 1960, culminant avec le lancement du télescope spatial Hubble en 1990. En travaillant aux États-Unis, j'aurais accès aux plus grands télescopes du monde, à la fois au sol et dans l'espace, ce qui me permettrait de regarder le plus loin possible dans l'univers et de remonter d'autant plus dans le temps. Que pouvais-je souhaiter de mieux ?

Cependant, j'étais bien conscient que tout n'était pas pour le mieux dans mon pays d'adoption. La ségrégation raciale qui y sévissait me troublait profondément. Quelques années avant mon arrivée, en 1967, dans certains États du Sud comme l'Alabama ou le Mississippi, les Noirs n'avaient pas encore le droit d'utiliser les mêmes toilettes ou de s'asseoir aux mêmes places dans un bus que les Blancs. Même à Washington, dans la capitale, en bordure de la Virginie, il n'était pas rare d'apercevoir des panneaux proclamant : *Whites only*.

C'est seulement grâce au militantisme non violent du pasteur Martin Luther King et d'autres leaders que les droits civiques des Noirs – en particulier le droit de vote et celui de l'accès à l'éducation – furent enfin inscrits dans la loi. Et encore la mise en application de cette législation fut-elle extrêmement difficile au début, dans les États du Sud. Je me souviens de scènes choquantes à la télévision où sur certains campus les étudiants noirs devaient être escortés par des soldats de la garde nationale pour pouvoir aller en cours.

Certes, durant mes quelque quarante ans passés en Amérique, j'ai vu la situation s'améliorer considérablement pour les Noirs – et par extension pour les autres minorités ethniques. On voit aujourd'hui des hommes et des femmes de couleur occuper les plus hautes fonctions de l'État ou diriger les entreprises les plus importantes du pays. Mais le chemin qui reste à parcourir est encore très long. Les statistiques montrent qu'en moyenne, les Noirs gagnent toujours moins, sont plus souvent au chômage ou détenus en prison, et sont moins éduqués que les Blancs. Pour ma part, travaillant dans un milieu universitaire libéral et éclairé, je n'ai jamais été directement victime de racisme, bien que je ne puisse exclure les formes plus subtiles qu'il peut prendre. Il est vrai aussi qu'étant relativement réduite et imprégnée des valeurs confucianistes du travail et de l'éducation, la minorité asiatique s'intègre généralement bien.

L'Amérique est un pays d'extrêmes, on le sait. Elle peut atteindre des sommets d'intelligence, d'ouverture, d'innovation et de créativité – envoyer un homme sur la Lune, développer Internet, inventer le jazz – aussi bien que toucher au tréfonds de la bêtise, de l'ignorance et de la bigoterie. Dans un pays qui possède le plus grand nombre de prix Nobel scientifiques au monde, je suis choqué qu'en 2009, année du 150^e anniversaire de *L'Origine des espèces* de Charles Darwin, seulement 39% des Américains croient en la théorie de l'évolution (25% n'y croient pas et 36% sont sans opinion) selon un sondage Gallup. Plus grave encore, certains défendent féroceement une interprétation littérale de la Bible et croient dur comme fer que le monde et l'homme ont été créés en six jours il y a quelque cinq mille ans. Pour eux, peu importe que les études paléontologiques nous disent que les plus vieux fossiles bactériens datent d'au moins 3,5 milliards d'années, ou que les études astronomiques nous révèlent que l'âge de la Terre est de 4,5 milliards d'années et celui de l'univers de 13,7 milliards d'années. Ils appartiennent à un courant dit « créationniste » ou du « dessein intelligent » (*Intelligent Design*) qui milite avec hargne et ténacité depuis des décennies pour que la « science de la Création » soit enseignée dans les écoles publiques au même titre que la théorie de l'évolution de Darwin. Heureusement, une loi de l'Arkansas de 1981 défendant le créationnisme a été

déclarée anticonstitutionnelle par la Cour suprême des Etats-Unis, celle-ci jugeant très justement que la théorie de la Création relevait de la religion plutôt que de la science. Malgré cela, le lobby créationniste n'est pas près de désarmer.

Autre fait qui heurte ma sensibilité : la quasi libre circulation des armes à feu. Je me suis toujours interrogé sur l'attachement viscéral que certains Américains (dont quelques-uns de mes collègues à l'université) ont vis-à-vis d'elles. Je n'arrive pas à comprendre que, dans un pays de trois cents millions d'habitants, il y ait deux cent vingt-trois millions d'armes à feu en circulation, chacun ou presque pouvant s'en procurer à sa guise. La violence que cela engendre est considérable, y compris dans les écoles et les universités. Qui ne se souvient pas des massacres d'étudiants et de professeurs au lycée Columbine dans le Colorado en 1999 ou à l'université Virginia Tech (à 250 kilomètres de Charlottesville) en 2007 ? Les politiciens (comme Bill Clinton) qui se sont élevés contre cette culture des armes à feu, et qui ont tenté d'imposer une législation plus stricte de leur achat, se sont constamment heurtés au puissant lobby de la NRA (National Rifle Association). Souvent je me demande si cette passion des armes, passion violente s'il en est, n'est pas aussi à l'origine du refus de certains États, comme le Texas ou la Californie, d'abolir la peine de mort.

Tout aussi dérangeant pour moi est le règne de l'argent. Aux États-Unis, devenir riche est presque unanimement considéré comme une marque de réussite de la vie, aux dépens des autres valeurs. De plus, dans le pays le plus riche du monde, la richesse est distribuée de manière très inégale : en termes de revenus, les trois cent mille Américains les plus fortunés (1% de la population) gagnent autant que les cent cinquante millions les plus pauvres (50% de la population), et ce fossé ne cesse de se creuser d'année en année. Jusqu'à très récemment, un Américain sur six ne possédait aucune couverture sociale et ne pouvait pas se faire soigner. En 2010, le président Barack Obama a enfin pu faire passer une loi visant à établir un plan d'assurance maladie pour tous les Américains. Ce qui a déjà poussé certains États à intenter des actions en justice pour anticonstitutionnalité !

Quand l'incroyable se produit

Septembre 1976 me vit sur le campus de Charlottesville, occupé à préparer mes premiers cours et à entamer de nouvelles recherches astronomiques. Mon cours, intitulé « L'astronomie pour les poètes », s'adressait non pas à des scientifiques mais à des littéraires. Dans le cycle universitaire de quatre ans qui mène au diplôme de *bachelor*, l'étudiant passe les deux premières années à prendre un aussi large éventail de cours que possible, et ne se spécialise que pendant les deux dernières. Ainsi, un physicien doit suivre des cours de littérature et, inversement, un philosophe doit être inscrit dans des cours de sciences. L'idée, conforme à celle d'« honnête homme », est de former des individus qui, à la sortie de l'université, posséderont une culture générale dans divers domaines. Ma classe était composée de plus d'une centaine d'étudiants. Il y avait une grande curiosité de la part des jeunes pour les découvertes de l'astrophysique contemporaine. Même s'ils ne se destinaient pas à une carrière scientifique, ils avaient soif de tout apprendre sur le big bang, les quasars, les pulsars, les trous noirs, et autres phénomènes spectaculaires relayés par les médias. Pour moi, c'était une joie et un défi d'enseigner l'astrophysique à des personnes non acquises a priori à la cause de la science et de le faire dans un langage non rébarbatif, donc sans faire appel aux mathématiques. Il m'incombait de leur expliquer la méthode scientifique et de leur montrer pourquoi la science en général et l'astronomie en particulier font partie intégrante de la culture humaine et comment elles éclairent notre vision du monde.

Pendant ce temps, la situation de mon père était toujours aussi désespérée. Tandis que je m'installais à Charlottesville, je recevais des lettres alarmantes de ma mère me suppliant d'agir au plus vite pour le faire libérer. Sa santé se détériorait de jour en jour. J'écrivis au Département d'Etat (le ministère des Affaires étrangères américain) pour lui demander d'intervenir, mais mes efforts se révélèrent vains, car les Etats-Unis et le Vietnam avaient cessé toute relation diplomatique depuis la chute de Saïgon. Il n'y avait plus de canal de communication. Alors que tout semblait bloqué s'est enclenchée une série d'événements qui me laissent toujours pantois, quand j'y repense, par leur agencement presque miraculeux.

Un collègue astrophysicien m'invita à aller travailler six mois, de juin à décembre 1978, à l'Institut d'astrophysique de Paris dont il venait de prendre la direction. L'occasion était inespérée et j'acceptai

tout de suite, pensant que les relations diplomatiques que la France avait toujours maintenues avec le Vietnam pourraient m'être d'une grande aide. Arrivé à Paris, j'entrepris immédiatement des démarches auprès de l'ambassade vietnamienne, mais, comme je m'y attendais, rien n'aboutit. L'ambassade devait recevoir des milliers de telles demandes qui finissaient probablement toutes à la poubelle. Rien ne bougeait, et mon père allait mourir.

Et puis le destin mit sur ma route une collègue et amie qui me présenta à Henri Van Regemorter, un astrophysicien de l'observatoire de Meudon, qu'elle savait très lié au Premier ministre vietnamien de l'époque, Pham Van Dong, connu comme l'un des artisans de la victoire du Vietnam sur les Américains. Van Regemorter m'écouta avec attention, sympathie et gentillesse. Sans hésiter, il proposa d'écrire à son ami pour lui demander, pour des raisons humanitaires et familiales, de faire libérer mon père et de lui permettre de rejoindre la France en compagnie de ma mère et de ma sœur. Il me tendit ensuite la lettre en me demandant de trouver le moyen de la faire remettre en main propre au Premier ministre. Il m'expliqua qu'il le connaissait bien, car il s'était occupé pendant de nombreuses années d'échanges culturels et universitaires entre la France et le Vietnam. Lui-même ayant été profondément marqué par l'occupation allemande de la France pendant la Seconde Guerre mondiale, il essayait d'aider à sa manière un pays déchiré par deux guerres successives. Juste à ce moment-là, une de mes tantes partait pour Hanoi. Je lui remis le pli, sans trop me faire d'illusions sur les chances qu'il parvienne à son destinataire. Et puis, même en admettant qu'il arrive entre les mains du Premier ministre, pourquoi celui-ci accèderait-il à la requête de Van Regemorter ? Mon séjour à l'Institut d'astrophysique se terminait, et je rentrais le cœur lourd en Virginie, avec le sentiment de n'avoir pas vraiment avancé.

Plusieurs mois passèrent pendant lesquels je restai sans nouvelles. La vie avait repris son cours, rythmée par l'enseignement et la recherche. Un beau jour de mars 1979 – ce jour-là reste gravé dans ma mémoire –, je reçus un télégramme de mes parents m'annonçant que, par ordre du Premier ministre, les autorités vietnamiennes venaient de leur délivrer un visa de sortie pour la France, et que je devais les accueillir à Roissy dans le mois à venir. Je manquai de défaillir de joie. C'était à peine croyable ! Le cauchemar était enfin terminé. Le destin avait mis sur mon chemin la seule personne capable de m'aider. Mon père a assurément été sauvé in extremis. Quand je l'ai revu à l'aéroport, il était méconnaissable. Maigre à l'extrême (il avait perdu trente-deux kilos), les cheveux tout blanchis et ayant à peine la force de marcher, il était encore entre la vie et la mort. Je le conduisis d'urgence à l'hôpital Boucicaut où il fallut trois

mois pour que les médecins le remettent sur pied.

Mon père a quitté ce monde en 1994. Je suis heureux qu'il ait pu passer les quinze dernières années de sa vie en paix, dans un pays et une culture pour lesquels il éprouvait une grande admiration, ayant été lui aussi éduqué à la française. Jusqu'à la fin, il a mené une vie simple et sereine, sans aucune haine pour ceux qui l'avaient fait souffrir, ni aucune amertume pour ce qu'il avait perdu. J'admire sa sagesse.

Des bébés galaxies à la masse noire de l'univers

L'université de Virginie m'a fourni un environnement dans lequel j'ai pu développer mes thèmes de recherche et m'épanouir scientifiquement. Je me suis concentré sur la formation et l'évolution des galaxies, qui reste l'un des problèmes majeurs de l'astrophysique contemporaine. Je me suis penché en particulier sur l'étude des galaxies dites « naines », à la fois par leur taille et leur masse, ayant une dimension située entre quinze et trente mille années-lumière (la Voie lactée en mesure cent mille) et contenant entre cent millions et dix milliards de soleils (la Voie lactée en contient cent milliards). Ce sont elles qui, poussées par la gravité, vont s'agglomérer au cours du temps pour donner naissance aux majestueuses galaxies spirales (dont la Voie lactée) et elliptiques qui peuplent le firmament. Ainsi les galaxies se forment dans un processus de croissance hiérarchique, des plus petites aux plus grandes. Tout comme les protons, les neutrons et les électrons constituent les briques de la matière, les galaxies naines sont les briques fondamentales des galaxies. On pense que les premières galaxies naines (on les appelle aussi « primordiales ») sont nées quelque part entre l'an 380 000 après le big bang, l'époque de la naissance du rayonnement fossile (la chaleur qui subsiste du big bang), et la fin du premier milliard d'années. L'univers étant âgé de 13,7 milliards d'années, elles sont donc nées il y a plus de treize milliards d'années.

En astronomie, on l'a vu, des objets qui sont éloignés dans le temps sont aussi distants dans l'espace, et donc très faibles en brillance. Pour l'heure, les plus grands télescopes sur Terre et dans l'espace n'ont pas encore la capacité de voir ces galaxies naines. J'ai donc adopté une autre tactique pour en savoir plus sur elles. Je me suis dit que, même si la plupart sont nées au début de l'univers, nos modèles de formation des galaxies prédisent qu'il doit exister quelques-unes de ces naines qui se sont formées à une époque relativement récente. En d'autres termes, au lieu d'être âgées de plus de treize milliards d'années, elles ne seraient venues au monde qu'il y a un milliard d'années ou moins. Il s'agirait donc de bébés galaxies comparés à la galaxie adulte qu'est la Voie lactée. Mais comment repérer ces bébés galaxies dans le firmament ? Étant jeunes, ils n'ont, par définition, pas pu convertir beaucoup de leur gaz en étoiles. Or ce sont les étoiles qui, par leur alchimie nucléaire, enrichissent le gaz en éléments lourds (plus lourds que l'hydrogène et l'hélium fabriqués

dans le big bang). Peu de formation d'étoiles voulant dire peu d'éléments lourds, j'en ai déduit que, dans la faune des galaxies, il me fallait rechercher celles qui sont très déficientes en éléments lourds (ou en métaux). Ces bébés galaxies étant nés tout récemment, l'expansion de l'univers n'aurait pas eu le temps de trop les éloigner. Ils devaient donc se situer dans le voisinage de la Voie lactée. Je me suis mis alors à traquer, avec des étudiants et collègues, les galaxies ayant une très faible teneur en métaux dans l'univers « local », c'est-à-dire dans un rayon de moins d'une centaine de millions d'années-lumière.

J'ai passé de nombreuses années à étudier ces bébés galaxies que l'on appelle aussi « naines bleues compactes » (elles contiennent de nombreuses étoiles massives et chaudes qui émettent de la lumière bleue, et elles présentent un aspect compact à cause de leur très dense région de formation d'étoiles). Je les ai examinés sous tous les angles et dans toutes les lumières possibles, de la lumière X à la lumière radio, en passant par les lumières ultraviolette, visible et infrarouge. En décembre 2004, grâce à des observations faites avec le télescope spatial Hubble, et en collaboration avec mon collègue ukrainien Iouri Izotov, j'ai pu identifier la plus jeune galaxie connue de l'univers. Elle s'appelle I Zwicky 18 et son âge est de l'ordre d'un milliard d'années. un vrai bébé galaxie !

L'étude de ces galaxies est liée à un autre problème majeur de l'astrophysique auquel j'ai été amené à me confronter : celui de la masse noire. Comme je l'ai dit, la matière lumineuse des étoiles et des galaxies ne représente que 0,5% du contenu de l'univers. Nous vivons dans un univers iceberg dont plus de 95% nous échappent. Le vertige passé, nous devons essayer d'en savoir plus sur cette mystérieuse masse noire. Quelle est sa nature ? Est-elle faite de matière ordinaire, c'est-à-dire de protons et de neutrons, qui constituent les hommes, les pétales de rose et les sculptures de Rodin ? Ou est-elle constituée d'une matière exotique qui nous est encore complètement inconnue ? Sous quelle forme se présente la matière noire ? Sous la forme de particules élémentaires ou sous celle d'objets astronomiques exotiques comme les trous noirs ou les étoiles avortées ?

Privé de lumière, l'astronome est littéralement... dans le noir ! Par chance, la nature nous fournit un moyen pour mesurer la quantité de matière ordinaire de l'univers, et ce moyen met en jeu les bébés galaxies. Il faut savoir que pendant les trois premières minutes qui suivirent le big bang, les briques de la matière ordinaire que sont les protons et les neutrons (on les appelle génériquement des « baryons ») ont fusionné entre elles pour donner naissance à des noyaux d'hélium. Ainsi, il suffit de mesurer la quantité totale d'hélium (dont le noyau est constitué de deux protons et de deux neutrons) fabriquée pendant

les premiers instants de l'univers pour connaître la quantité totale de matière ordinaire qu'il contient. L'hélium primordial sera d'autant plus abondant qu'il y aura eu plus de baryons pour former des noyaux d'hélium, et donc plus de matière baryonique. C'est comme si vous vouliez connaître le nombre total de briques utilisées pour construire un quartier résidentiel : il vous suffirait de compter le nombre de maisons du quartier et de le multiplier par le nombre de briques nécessaires pour construire une seule maison.

En pratique, pourtant, déterminer l'abondance primordiale de l'hélium n'est pas de tout repos. J'en sais quelque chose, pour avoir consacré les seize dernières années de ma vie professionnelle à ce problème. Il est compliqué par le fait que les étoiles, de par leur alchimie nucléaire, peuvent aussi synthétiser des noyaux d'hélium et, ce faisant, modifier son abondance primordiale. Par exemple, le Soleil est en train de fabriquer de nouveaux noyaux d'hélium à chaque seconde qui passe. Pour mesurer la quantité primordiale de l'hélium, la stratégie est donc d'identifier des objets célestes qui ont subi très peu d'évolution, et dont la composition chimique reflète celle des premiers instants de l'univers. C'est ici que les bébés galaxies interviennent, parce qu'ils n'ont converti qu'une très faible fraction de leur gaz (moins de 0,01%) en étoiles. Il n'y a pas eu en eux beaucoup d'alchimie nucléaire et la quantité d'hélium en leur sein n'a pas été modifiée de manière appréciable par rapport à sa valeur primordiale.

Après maints efforts, j'ai pu mesurer, en collaboration avec Iouri Izotov, l'abondance de l'hélium primordial dans les bébés galaxies. Elle nous a révélé que la matière ordinaire – celle constituée par les protons et les neutrons dont vous et moi sommes faits – ne constitue environ que 4% du contenu total de l'univers. Puisque la matière ordinaire lumineuse des étoiles et des galaxies n'en constitue que 0,5%, cela implique que 3,5% de la matière ordinaire n'émet aucune lumière visible. Les astrophysiciens pensent que ces 3,5% sont constitués principalement de gaz extrêmement chaud dans les amas de galaxies, avec des températures de millions de degrés, émettant de la lumière X, et en moindre partie de gaz d'hydrogène froid dans l'espace intergalactique, émettant de la lumière radio. Quant aux 96% restants du contenu de l'univers, nous avons vu que 22% sont faits de matière exotique non constituée de protons et de neutrons et dont la nature reste un mystère total, et 74% d'énergie noire, responsable de l'accélération de l'univers et dont la nature est tout aussi mystérieuse.

La vie d'un chercheur n'est plus ce qu'elle était

La recherche est une activité toujours prenante, et la quête de nouveaux résultats, le désir d'arriver aussi vite que possible à la solution d'un problème sont souvent obsédants. La science est comme une maîtresse exigeante, qui demande une attention de tous les instants. Nuit et jour, hiver comme été, elle vous poursuit et ne vous lâche pas. La vie d'un chercheur ne peut être organisée selon des horaires fixes : il lui est impossible de commencer son travail à 9 heures, de ranger son bureau à 17 heures et de faire le vide dans son esprit en rentrant chez lui. Quand je bute sur un problème, il m'obsède littéralement. Même si je n'y travaille pas de manière consciente, mon subconscient continuera de chercher la solution. Que de fois suis-je allé me coucher découragé pour me réveiller avec la solution en tête, une solution si évidente et si simple que je me demandais souvent comment j'avais pu ne pas la voir avant.

Cette démarche ne m'est pas propre. Maints scientifiques vous raconteront que leur « Eurêka » est survenu au moment le plus inattendu. Je l'ai raconté, Spitzer, mon directeur de thèse, eut l'idée de confiner un gaz de plasma par des champs magnétiques afin de reproduire la fusion nucléaire des étoiles sur Terre et de satisfaire les besoins en énergie des hommes, lors d'une remontée à ski dans le Colorado. Le grand mathématicien français Henri Poincaré raconte quant à lui comment la solution à un problème mathématique qui lui échappait depuis des semaines lui apparut tout à coup claire comme le jour, au moment de monter dans un bus ! Il n'y a aucun doute, le rôle de l'inconscient dans la découverte est primordial.

Comment cet état de tension permanente se concilie-t-il avec la vie de tous les jours ? Certes, être constamment préoccupé par un problème empêche parfois d'être tout à fait présent au quotidien et c'est probablement cette disponibilité partielle qui est à l'origine de l'image populaire du scientifique façon professeur Tournesol, distrait et perdu dans ses pensées. Parce qu'il lui faut vivre avec ses problèmes scientifiques à longueur de journée, la vie du chercheur est nécessairement ascétique, à mille lieues des mondanités. Son travail demande une concentration intérieure qui s'allie mal avec des dîners en ville ou des sorties tardives. Pour ma part, j'ai la chance que mon épouse – rencontrée lors d'un voyage à Londres où elle s'était installée avec sa famille pour échapper au régime communiste vietnamien –, elle-même professeur de sciences et de mathématiques dans un lycée,

apprécie le sens de mon activité et comprenne la passion qui m'anime. Grâce à elle je dispose d'un environnement familial stable et serein, indispensable à la recherche. Et puis, quoi de mieux que de pouvoir partager avec elle mes découvertes ?

La joie de la découverte est un sentiment d'ordre quasi métaphysique. Elle se manifeste d'abord par un grand soulagement d'être enfin arrivé au bout du chemin, après avoir vécu intensément avec un problème pendant un temps indéterminé. C'est l'immense satisfaction d'un travail achevé : mettre le point final à l'article qui décrit vos résultats et l'envoyer à un journal professionnel qui publiera et communiquera ces résultats à toute la communauté scientifique. C'est aussi l'inexprimable fierté d'avoir pu soulever un petit pan du mystère, d'être le premier à entrevoir un aspect jusque-là inconnu de l'univers.

Quand j'ai commencé ma carrière, l'astronomie restait l'un des rares domaines où l'on pouvait mener ses recherches sans faire partie d'une énorme équipe. C'était une science qui demeurait somme toute assez individuelle. Au cours de mes séjours dans les observatoires pour collecter la lumière du cosmos, j'étais seul ou accompagné d'un collègue ou d'un étudiant. Cette solitude relative présente l'avantage certain de se sentir plus profondément en communion avec l'univers. L'observation terminée, je rentrais à mon université et l'analyse des données et la réflexion s'accomplissaient de manière solitaire dans mon bureau, ou en interaction avec tout au plus un ou deux collaborateurs et étudiants.

Cette façon de travailler convient parfaitement à ma personnalité. Je fonctionne mal dans une grande équipe où on perd beaucoup de temps en d'interminables réunions pour parvenir à un consensus qui n'est pas toujours satisfaisant. Je préfère être maître de mes décisions scientifiques.

La situation est très différente dans d'autres domaines, en particulier en physique des particules élémentaires, où chaque expérience nécessite des centaines de chercheurs répartis dans de nombreux pays du monde, et où la liste des auteurs d'un article peut facilement occuper plusieurs pages ! On y perd presque toute individualité. De surcroît, j'ai toujours trouvé inique que les résultats, une fois obtenus, soient généralement mis au crédit du leader de l'équipe, souvent le premier auteur d'une flopée de collaborateurs. Et c'est à lui seul qu'au moment des récompenses, les comités de sélection (dont celui du Nobel) décernent les prix. Je me suis bien souvent félicité d'avoir choisi l'astronomie comme domaine de recherche, car elle semblait être immunisée contre ce syndrome de désindividualisation. Mais pendant les deux dernières décennies, l'astronomie s'est rapprochée de plus en plus du modèle de la

physique des particules, ce qui m'inspire des sentiments mitigés. La façon dont les astronomes font leur métier a changé de manière remarquable et troublante.

En effet, les projets astronomiques actuels qui ont de l'impact deviennent de plus en plus onéreux. Ils sont susceptibles de coûter plusieurs centaines de millions, voire des milliards de dollars. Nulle université ne peut, par elle-même, disposer de telles sommes d'argent. Ce qui nécessite des collaborations avec d'autres universités, des agences gouvernementales et d'autres pays. La globalisation a ainsi touché l'astronomie de plein fouet. Au fil des trois dernières décennies, elle a connu une expansion spectaculaire, en Europe notamment. Je me souviens qu'en 1978, au cours de mes premières visites à l'Institut d'astrophysique de Paris, la grande majorité de mes collègues français travaillaient surtout sur des problèmes concernant les étoiles proches dans la Voie lactée, et les recherches extragalactiques (concernant les objets au-delà de la Voie lactée) étaient plutôt rares. Et cela parce que, pendant très longtemps, les Européens n'ont pas eu accès à de grands télescopes : ils ne pouvaient pas voir aussi faible et donc aussi loin dans l'espace et dans le temps que les Américains. Mais la création de l'Observatoire européen austral – dont la France fait partie – au Chili en 1962, et surtout la mise en opération par cet observatoire, vers la fin des années 1990, du VLT (Very Large Telescope), un ensemble de quatre télescopes géants de 8,2 mètres de diamètre chacun, perchés à deux mille six cents mètres d'altitude, au cœur du désert d'Atacama, dans les Andes chiliennes, ont complètement changé la donne. La cosmologie et l'astronomie extragalactique sont devenues des sujets de recherche à part entière dans l'astronomie française. Une expansion similaire, mais plus récente, s'est produite en Asie, en particulier au Japon et en Chine. Il ne fait aucun doute que l'astronomie va se globaliser encore et encore, et que les collaborations internationales seront bientôt la norme plutôt que l'exception.

Face à l'internationalisation de leur domaine et au caractère de plus en plus pharaonique de leurs projets, les astronomes, habitués de longue date à travailler en solitaires, sur des projets dont ils connaissaient les moindres rouages, se sont tout à coup retrouvés mêlés à des équipes de centaines de personnes. Ils ont été dans l'obligation d'œuvrer comme des ouvriers à la chaîne, chacun s'occupant d'une petite partie du tout, dans de véritables usines scientifiques organisées pour produire le maximum de résultats en un minimum de temps. Ils ont été contraints d'accepter, ou plutôt de tolérer en leur sein, la présence indispensable de managers professionnels, armés de tableaux d'emploi du temps complexes et d'organigrammes sans fin. Les articles qui résultent de ces projets

gigantesques commencent à ressembler à ceux de la physique des particules, signés par des dizaines, voire des centaines d'auteurs.

Du même coup, la communauté des astronomes s'est considérablement agrandie. Les découvertes spectaculaires sans cesse relayées par la presse ainsi que l'appel romantique du ciel n'ont cessé d'attirer de plus en plus de jeunes gens vers l'astronomie. Par sa vitalité et parce qu'elle touche à maints domaines de connaissance, cette science ne cesse de capter les talents d'autres sciences comme la physique des particules (dans la théorie du big bang, l'univers est une purée de particules élémentaires pendant les premières fractions de seconde de son existence) ou la biologie (comment détecter la vie dans d'autres systèmes solaires est l'une des questions majeures de l'astrobiologie). Aux États-Unis, le nombre d'astronomes a presque doublé en vingt-cinq ans, passant de quatre mille deux cents en 1984 à sept mille sept cents en 2009. Le contingent américain comprenant environ le quart de l'Union astronomique internationale – l'organisation qui rassemble les astronomes professionnels du monde entier –, cela veut dire que l'astronomie compte environ trente mille huit cents membres sur le globe. Une prolifération qui a profondément modifié la sociologie de la profession.

L'astronomie a aussi bien changé en ce qui concerne la manière d'observer. Finie, l'image romantique de l'astronome observant dans le noir, luttant vaillamment contre le froid et le sommeil ! Pourtant, c'était ce que je faisais au début de ma carrière, et je peux garantir que l'expérience n'était pas toujours des plus plaisantes. Aujourd'hui, l'observation se déroule beaucoup plus confortablement, dans une salle bien éclairée et chauffée, aux rideaux soigneusement tirés pour que la lumière artificielle ne pollue pas les observations. Je pianote sur les claviers des ordinateurs pour pointer le télescope vers l'étoile ou la galaxie que je veux étudier, et celle-ci m'apparaît grâce à la magie de l'électronique. Toutes les informations nécessaires au bon contrôle des opérations sont affichées sur des rangées d'écrans : image de l'objet, ses coordonnées dans le ciel, transparence et humidité de l'air, quantité de poussière dans l'atmosphère, vitesse du vent, caractéristiques du détecteur électronique utilisé, temps de pose, etc. Cette perte de contact direct avec le ciel est plus que compensée par la précision et l'efficacité des observations, mais il est également vrai que le lien avec le cosmos me manque. Au cours de la nuit, pour retrouver cette communion, je sors de temps à autre du bâtiment qui abrite le télescope pour lever les yeux vers le firmament et les remplir de cette clarté qui tombe des innombrables points de lumière dont se pare la voûte céleste.

Mais il y a plus : avec certains télescopes, je n'ai même plus besoin de me déplacer jusqu'à l'observatoire pour pouvoir l'utiliser ! Grâce à

la magie informatique, je peux tout contrôler de mon bureau à l'université, voire de mon domicile. Je travaille de concert avec un opérateur présent à l'observatoire, qui a pour tâche de surveiller le ciel et de fermer le dôme afin de protéger le télescope si les conditions météorologiques viennent à se dégrader et de s'assurer de la bonne marche des instruments. L'écran dans mon bureau ou à mon domicile me donne exactement les mêmes informations que celles que j'aurais obtenues sur le site même, et j'accomplis rigoureusement les mêmes opérations que celles que j'aurais faites à l'observatoire. Le tout à des milliers de kilomètres de l'instrument ! Ce mode d'observation à distance a certes maints avantages : gain de temps personnel et professionnel, gain de confort, sans compter l'économie du coût des voyages. Une fois la nuit d'observation terminée, je peux rentrer chez moi retrouver mon lit mille fois plus accueillant que celui d'un dortoir. La routine journalière n'est pas bouleversée et je n'ai pas à me faire remplacer par un collègue pour mes cours. Mais il me prive de ces lieux exceptionnels que sont les observatoires, toujours situés dans des sites magiques, que ce soit au sommet du volcan éteint Mauna Kea, sur l'île d'Hawaïi, dans le désert d'Arizona, ou dans la cordillère des Andes au Chili. Autant de refuges où l'homme peut se connecter au cosmos, à l'écart de la pollution de la lumière artificielle qui a tant fait pour le couper du ciel. Ne plus voir ces sites naturels magnifiques, ni ce ciel étoilé d'une splendeur à couper le souffle me manquerait trop. C'est pourquoi je m'arrange toujours pour aller retrouver mes chers observatoires une ou deux fois par an.

L'observation à distance est poussée à l'extrême quand il s'agit d'utiliser non plus les télescopes terrestres, mais ceux qui gravitent dans l'espace. Comme je l'ai évoqué, quand j'utilise le télescope spatial Hubble, ce n'est même plus moi qui suis aux commandes. Son maniement est si complexe que je dois passer par la NASA pour obtenir mes données. Je dois envoyer par Internet, des mois à l'avance, un programme d'observation au personnel de l'Institut du télescope spatial à Baltimore, dans le Maryland, qui gère l'utilisation scientifique de Hubble. Ces observations sont ensuite intégrées à celles d'autres astronomes afin d'utiliser Hubble le plus efficacement possible. Une fois les données acquises, elles sont envoyées sous forme numérique par radio au sol, traitées par les ordinateurs de l'institut et réexpédiées par Internet à mon université. C'est toujours fiévreusement que je les vois s'afficher pour la première fois sur mon écran d'ordinateur. Quelle découverte vais-je faire ? La première émotion passée, je peux visionner tranquillement les données et les analyser à loisir dans mon bureau.

La façon d'étudier le ciel a énormément évolué, et cette révolution n'est pas près de s'arrêter. De plus en plus, les données vont parvenir

automatiquement à l'astronome. Dans le futur, chaque nuit, pendant qu'il sera dans les bras de Morphée, des télescopes sur pilotage automatique scanneront le ciel, envoyant à un réseau d'ordinateurs d'innombrables données numériques du cosmos. Ces ordinateurs vont ensuite exploiter cette base de données pour repérer des phénomènes cosmiques intéressants, telles les morts explosives d'étoiles massives (ou supernovae) qui apparaissent comme de nouveaux points lumineux dans le ciel. Ils auront aussi collecté les informations fournies par d'autres bases de données dans le monde, obtenues précédemment par d'autres télescopes sensibles à d'autres sortes de lumière, tels les télescopes X infrarouge ou radio, donnant ainsi une vision multilumineuse de l'événement à l'astronome. Et celui-ci n'aura plus qu'à réfléchir sur la signification de cet événement à son réveil.

Avec la numérisation du ciel est née ce que l'on appelle l'« astronomie virtuelle ». Celle-ci est fondée sur des données numériques archivées et mises à la disposition des astronomes du monde entier sur le web. Cette pratique nouvelle a entraîné une profonde démocratisation de l'astronomie. Celle-ci n'est plus divisée entre les riches – ceux qui ont accès aux grands télescopes – et les pauvres – ceux qui en sont privés. Pour accéder aux archives du ciel au même titre que n'importe quel autre astronome, il suffit désormais de posséder un ordinateur, que l'on soit professionnel ou non. C'est ainsi que les astronomes professionnels ont lancé une campagne pour demander à tous ceux qui disposent d'un équipement informatique de les aider à classifier les millions d'images de galaxies archivées. La réponse a été enthousiaste : des centaines de milliers de personnes de par le monde ont adhéré à ce projet baptisé « Zoo de galaxies », générant des découvertes intéressantes.

Malgré tous ces avantages indéniables, cela m'attriste de rencontrer des étudiants qui me disent être astronomes mais n'avoir jamais mis les pieds dans un observatoire. Pour ces jeunes gens, observer le ciel signifie s'asseoir devant un écran et manipuler des données collectées par d'autres. S'ils savaient quelles sensations on éprouve à contempler cette voûte ornée d'innombrables points de lumière au-dessus d'un vrai observatoire...

Pourquoi j'écris en français, pourquoi j'écris pour tous

Déjà enseignant et chercheur, je suis tombé dans la marmite de la vulgarisation de l'astronomie par un heureux concours de circonstances. À la demande de *La Recherche*, j'avais écrit plusieurs articles de vulgarisation sur la cosmologie : le big bang, la formation des galaxies, etc. Ils ont été remarqués et appréciés par le directeur littéraire de l'époque de la collection « Le Temps des sciences », aux éditions Fayard, qui m'a contacté aux Etats-Unis pour me proposer d'écrire un livre qui ferait le point sur les théories de l'univers, en particulier sur celle du big bang. Sa proposition arrivait à point nommé, car je caressais depuis quelque temps le désir de faire connaître les découvertes fantastiques de l'astrophysique contemporaine au grand public.

Je savoure pleinement ma vie universitaire qui me permet de m'isoler du monde afin de me consacrer à l'analyse et à la réflexion, et de rédiger des articles scientifiques pour partager mes découvertes avec la communauté scientifique. Toutefois, j'ai toujours éprouvé un certain sentiment de frustration en sachant que tel ou tel article sur lequel j'avais travaillé intensément pendant des mois, voire des années, ne serait lu et compris que par une poignée d'experts, tant le savoir est devenu spécialisé. Une spécialisation à outrance qui me frustre au plus haut point : de plus en plus, la connaissance scientifique se définit comme un savoir total sur presque rien. Or tout auteur écrit dans l'espoir d'être lu. Je pensais qu'un bon livre de vulgarisation de l'astronomie pourrait toucher une audience plus large et, en fin de compte, avoir davantage d'impact. Qui sait, peut-être pourrait-il changer la vision du monde de certains lecteurs et les aider à mieux apprécier la condition humaine dans ce vaste univers. Parmi les plus jeunes, peut-être saurait-il même susciter des vocations scientifiques à une époque où la science a mauvaise presse et où les adolescents se détournent des carrières scientifiques. J'avais l'intime conviction que par la vulgarisation de la science, il me serait permis de répondre à cet idéal du *ren*, ce concept de l'amour de l'humain si cher à Confucius et ancré si profondément en moi.

En 1987, l'année qui suivit la signature du contrat d'édition, j'eus droit à une année sabbatique. L'université de Virginie, comme toutes les autres grandes universités américaines, a l'excellente coutume d'en accorder une aux professeurs tous les six ans. Le but est de leur permettre de se consacrer entièrement à la recherche ou à l'écriture

d'un livre pendant douze mois, sans être interrompus par l'enseignement et autres tâches administratives. Les enseignants ont même la possibilité de passer ce laps de temps dans un autre établissement, où résident d'autres experts dans leur domaine de recherche avec qui ils peuvent interagir, nouer des collaborations et se renouveler intellectuellement. Plusieurs raisons m'incitèrent à passer mon année sabbatique à l'Institut d'astrophysique de Paris. Non seulement c'était un très bon centre de recherche où je pourrais collaborer avec des collègues français, mais cela me donnerait aussi la possibilité de voir souvent mes parents qui étaient désormais parisiens. D'autre part, un séjour au cœur des innombrables richesses culturelles de la capitale française me mettrait dans le bain pour écrire mon ouvrage. Car j'avais bel et bien l'intention de le rédiger en français.

Malgré ma nationalité américaine et bien que je vive sur le sol des États-Unis et pratique l'anglais depuis plus de quatre décennies, c'est dans la langue de Molière que je me sens le plus à l'aise quand il s'agit d'exprimer des idées dans un livre. Ma fréquentation des classiques français du temps du lycée de Saigon, Racine, Corneille et Molière, les grands auteurs du XIX^e siècle comme Hugo, Balzac, Stendhal et Flaubert et les poètes Rimbaud, Verlaine et Baudelaire, m'a rendu amoureux de cette langue claire, tout en nuances et au vocabulaire d'une richesse infinie. Pour moi, c'est la langue littéraire par excellence. J'étais conscient que les sujets que j'aborderais dans mon ouvrage seraient parfois ardues, et j'étais persuadé qu'écrire en français me permettrait d'y introduire un brin de poésie pour adoucir le langage parfois aride de la science. Quant à l'anglais, il reste pour moi une langue scientifique dont je me sers pour rédiger mes articles de recherche. J'ai encore moins de prétentions littéraires vis-à-vis de ma langue natale, le vietnamien. Je le parle en famille, mais les longues années d'absence, loin du sol d'origine, m'empêchent de l'écrire de manière aussi maîtrisée que je le voudrais.

J'ai terminé *La Mélodie secrète*⁽⁵⁾ à la fin de mon année sabbatique et l'ouvrage est paru quand j'étais de nouveau en plein enseignement en Virginie. Inconnu du public français, je m'interrogeais sur les chances qu'avait mon livre de percer. Heureusement, Claude Durand, le directeur des éditions Fayard, avait apprécié mon travail et pris la décision de faire une campagne de presse vigoureuse pour le lancer. La presse a répondu présente et les critiques ont été favorables. Pour couronner le tout, Bernard Pivot m'a invité sur le plateau d'*Apostrophes*. J'ai su que le pari était gagné quand le lendemain de l'émission, à l'aéroport de Roissy où je reprenais l'avion pour la Virginie, plusieurs personnes m'ont arrêté pour me féliciter de mon intervention télévisée. *La Mélodie secrète* est devenu un best-seller et a

été traduit dans plusieurs langues, dont des versions américaine et vietnamienne. Plus de deux décennies plus tard, il s'en vend toujours plusieurs milliers d'exemplaires par an en format poche. Ma carrière de vulgarisateur scientifique avait commencé.

« Pourquoi vulgarisez-vous ? » La question m'est souvent posée dans les interviews. Je réponds invariablement que la principale raison est que mon sujet de recherche s'y prête. Chacun de nous a levé les yeux vers le ciel nocturne et a été ébloui par sa magnificence. Chacun de nous s'est interrogé sur l'infinité de l'univers. Nous nous sommes tous posé des questions sur l'origine du cosmos et sur sa destinée. J'ai un atout que mes collègues dans d'autres domaines de recherche ne possèdent pas : il est beaucoup plus facile de parler de planètes que de protons, d'électrons et autres quarks que personne, hormis les scientifiques, n'a jamais vus. Les étoiles et les nébuleuses dégagent une poésie et une beauté que n'ont sans doute pas les particules élémentaires. Vulgariser l'astronomie est certainement bien plus aisé que populariser la physique des particules élémentaires, la théorie des cordes, la formule d'un produit chimique, le fonctionnement d'une cellule vivante ou d'un virus.

D'autres raisons autrement plus importantes me motivent à jouer le rôle de « passeur de connaissance ». Il ne fait aucun doute que la société d'aujourd'hui dépend de la science et de ses dérivés technologiques. Ceux-ci sont essentiels pour le progrès de l'humanité et sa survie. Il est tout aussi certain que cette science, quand elle est mal appliquée par les décideurs, qu'ils soient politiques, industriels ou militaires, peut causer des ravages : la dévastation d'Hiroshima et de Nagasaki, le trou dans la couche d'ozone, le réchauffement global dû à l'effet de serre et bien d'autres blessures infligées à notre planète en sont des exemples probants. Dans un monde chaque jour plus interdépendant, où l'idée de démocratie gagne du terrain et où les populations ont de plus en plus leur mot à dire sur ceux qui les dirigent, il est vital que les citoyens aient une compréhension basique de la science et des technologies dans tous les aspects de la vie, qu'ils soient au courant de leurs bienfaits mais aussi de leurs méfaits possibles, et ce afin de bien choisir leurs dirigeants. Ces derniers doivent effectuer des choix, parmi une myriade d'alternatives, qui peuvent affecter des millions de vies, voire le devenir même de la planète. À ce titre il leur faut eux-mêmes s'informer pour être le plus à même de prendre les bonnes décisions.

La presse scientifique joue un rôle important dans la vulgarisation de la science. Elle informe le public de l'état actuel des connaissances et de l'utilisation qui en sera faite dans la société. Elle se fait aussi l'écho des réactions du public vis-à-vis de certaines applications – par exemple la méfiance des Européens envers les OGM. Mais les

journalistes scientifiques ne pratiquent pas la science, et, de temps à autre, il est inévitable que des erreurs se glissent dans leurs articles ou leurs émissions. Qui mieux que le scientifique lui-même peut expliquer ses propres découvertes ou celles de ses collègues ? Il est peut-être capable d'en parler avec plus de pertinence : pratiquant lui-même la méthode scientifique, il en connaît les succès fulgurants, les triomphes éclatants, mais aussi les limites et les impasses. Il peut en outre donner de la science une image moins ennuyeuse et rebutante, s'il sait en parler avec pédagogie et enthousiasme. Je constate non sans tristesse que dans les pays développés, les jeunes les plus doués délaissent souvent la voie scientifique pour des carrières plus lucratives dans les affaires, le droit ou la médecine. Il est urgent d'éveiller et de maintenir l'intérêt des jeunes pour la science, et de les aider à retrouver un rapport positif avec elle.

Je pense que les scientifiques ont pris de plus en plus conscience du fait que c'est l'argent public qui finance nos recherches, et que nous devons rendre compte au public du résultat de notre travail, comme tout salarié doit rendre compte à son employeur des résultats obtenus et des progrès accomplis. Dans mon domaine de recherche, où la construction d'un grand télescope au sol requiert des centaines de millions de dollars, et où le lancement d'un télescope spatial tel Hubble coûte au contribuable la bagatelle de près d'une dizaine de milliards de dollars, il est vital de maintenir l'intérêt et l'enthousiasme du public pour l'astronomie. Et ce parce que, dans une démocratie, l'opinion publique peut faire pression sur les décideurs afin de les pousser à financer davantage la recherche scientifique ou, en cas de décisions contraires à son intérêt, à changer d'avis et à modifier leur action.

Un exemple frappant me vient à l'esprit. En 2004, un an après l'explosion de la navette spatiale *Columbia* qui fit périr les sept astronautes à son bord, la NASA décida d'annuler la mission de réparation de Hubble prévue depuis de longues années, invoquant qu'elle était trop dangereuse. De fait, plusieurs des instruments de Hubble – notamment un spectrographe, plusieurs gyroscopes servant à pointer le télescope, les panneaux solaires qui l'alimentent en électricité étaient tombés en panne ou s'étaient fortement détériorés et, sans réparations, Hubble ne pourrait plus fonctionner. Cette annulation signait donc la condamnation à mort du télescope spatial qui a révolutionné l'astronomie. Un immense tollé s'éleva au sein du public, car l'institut qui gère Hubble avait mené de main de maître sa campagne de relations publiques : qui n'avait pas été ébloui par la splendeur d'une des images du télescope spatial ? Un mouvement pour sauver Hubble s'organisa. Les gens écrivirent à leurs représentants au Congrès, et ceux-ci persuadèrent le directeur de la

NASA de revenir sur sa décision. La dernière mission de réparation de Hubble à l'été 2009 a été couronnée de succès. Il devrait donc poursuivre ses bons et loyaux services au moins jusqu'en l'an 2014, où son successeur, le télescope James Webb, prendra la relève. Voilà un exemple type de ce que l'information du public sur certains sujets scientifiques s'avère... payante !

Mais il existe d'autres raisons qui motivent mes travaux de vulgarisation. Outre la description de phénomènes – du big bang ou de l'étrange et merveilleux bestiaire de l'astrophysique que constituent trous noirs, quasars et autres pulsars –, ce qui m'intéresse dans ma recherche, ce sont les implications philosophiques qu'elle peut avoir. L'astronomie est plus que la simple étude des objets du cosmos. Au-delà des questions purement scientifiques se posent également des interrogations qui touchent à la métaphysique et à la spiritualité. L'astronomie donne à voir, mais aussi à réfléchir. Elle change notre vision du monde ou, pour utiliser le mot du philosophe des sciences Thomas Kuhn, elle modifie notre « paradigme ». En délogeant l'homme de sa place centrale dans l'univers, Copernic a déclenché une révolution dont nous ressentons encore les conséquences aujourd'hui. La cosmologie moderne a profondément modifié nos idées sur la nature du temps et de l'espace, sur l'origine de la matière, sur le développement de la vie et de la conscience, sur l'ordre et le désordre, le chaos et l'harmonie, la causalité et le déterminisme. Les questions que se pose le cosmologue sont étonnamment proches de celles qui préoccupent le théologien : quelle est l'origine de l'univers ? A-t-il pu se créer tout seul ? Y a-t-il eu un début du temps et de l'espace ? L'univers aura-t-il une fin ? D'où vient-il et où va-t-il ? Notre existence a-t-elle un sens dans ce vaste univers ? L'émergence de l'intelligence et de la conscience n'est-elle qu'un simple fait du hasard, un « accident de parcours » dans la longue marche de l'univers, ou était-elle inscrite dans les propriétés de chaque atome, étoile et galaxie, et dans chaque loi physique qui régit le cosmos ? À force d'attaquer le mur qui cerne la réalité physique avec les marteaux-pilons que sont les lois physiques et mathématiques, cosmologues et astronomes se sont retrouvés nez à nez avec les théologiens. La cosmologie aborde des sujets qui furent longtemps la propriété exclusive de la religion. J'ai la certitude que la science peut jeter un éclairage nouveau sur ces questions anciennes, et accroît donc mon désir de partager mes réflexions et mes convictions intimes avec le grand public. Comme le biologiste français Jacques Monod l'a écrit dans *Le Hasard et la Nécessité* : « Le devoir s'impose, aujourd'hui plus que jamais, aux hommes de science de penser leur discipline dans l'ensemble de la culture moderne pour l'enrichir non seulement de connaissances techniquement importantes, mais aussi

des idées venues de leur science qu'ils peuvent croire humainement significatives. L'ingénuité même d'un regard neuf (celui de la science l'est toujours) peut parfois éclairer d'un jour nouveau d'anciens problèmes^{6}... »

Sur un plan personnel, la chance de faire un métier que j'aime me procure l'immense plaisir de partager non seulement ce que je sais – comme un artisan est fier de montrer son savoir-faire –, mais aussi l'émotion et le sentiment de connexion cosmique que je ressens quand je me rends dans les divers observatoires du monde pour recueillir cette précieuse lumière qui nous vient des lointaines contrées du cosmos. L'activité de vulgarisateur m'a offert une nouvelle vie, outre celle de chercheur et d'enseignant. À travers elle, j'ai pu rencontrer diverses personnes d'autres milieux – littéraire, artistique, politique... – dont le contact a considérablement enrichi et élargi ma vision du monde.

Retour sur ma terre natale

C'est du reste en tant que vulgarisateur que j'ai effectué un voyage au Vietnam en compagnie du président François Mitterrand. Un jour de 1993, dans mon bureau de l'université de Virginie, je reçus un appel du palais de l'Élysée. Je crus d'abord à une plaisanterie. Le président français me conviait à me joindre à la délégation qui l'accompagnerait dans sa visite d'État à mon pays natal. Il était le premier dirigeant occidental à renouer avec le Vietnam après son long isolement vis-à-vis de l'Ouest. Pourquoi le président m'a-t-il invité ? Personne ne m'en a jamais donné la raison précise. Il voulait sans doute faire honneur à ses hôtes en invitant un enfant du pays, internationalement connu. Peut-être aussi *La Mélodie secrète* avait-il plu à ce président cultivé qui aimait à s'entourer de philosophes et d'intellectuels.

L'invitation du président français me mettait face à un dilemme : devais-je retourner dans un pays qui avait emprisonné en 1975 mon père dans un camp de « rééducation », où il serait probablement mort sans l'intervention inespérée de mon ami astrophysicien ? Je posai la question à mon père qui ne s'opposa pas à ce retour : il me conseilla d'aller voir de mes propres yeux l'état actuel du Vietnam, et de juger par moi-même. Pour cet homme profondément bon et imprégné de philosophie bouddhiste, la haine, le ressentiment et la vengeance sont des poisons de l'esprit qu'il convient d'éliminer.

Il va sans dire que revenir dans ma ville natale de Hanoi où je n'avais pas mis les pieds depuis 1954 fut pour moi très émouvant. J'ai visité les anciens lieux de mon enfance et retrouvé certains membres de ma famille que j'avais perdus de vue depuis plus de quatre décennies. La misère et la souffrance dues aux longues années de guerre étaient encore palpables. Aux côtés du président, j'ai pu rencontrer des figures vietnamiennes légendaires, comme l'ancien chef du gouvernement Pham Van Dong (qui avait fait libérer mon père de son camp) ou le général Vo Nguyen Giap, vainqueur de Dien Bien Phu et de la lutte du Viet-minh contre les États-Unis. Ho Chi Minh, lui, était mort depuis longtemps. Même si je suis en désaccord avec la politique communiste de suppression des libertés fondamentales et avec la manière dont furent traités les vaincus, tel mon père, j'ai de l'admiration pour ce peuple héroïque qui a su vaincre deux grandes puissances, la France et les États-Unis, fut-ce au prix de tant de sang et de larmes. Pour préserver son indépendance, il

a su démontrer au monde que les technologies de guerre les plus avancées ne suffisent pas pour vaincre l'esprit humain.

Après mon voyage avec le président Mitterrand, je suis retourné plusieurs fois au Vietnam en me demandant ce que je pouvais faire pour aider à sa reconstruction. Étant professeur et chercheur, la réponse s'est imposée d'elle-même : je me devais de communiquer et de transmettre ce que je connaissais aux jeunes. Le Vietnam est en plein démarrage économique. La moitié de sa population a moins de trente ans et n'a pas connu la guerre. Le grand enjeu est désormais de l'éduquer afin de lui donner la formation scientifique et technique nécessaire pour que le Vietnam puisse un jour rejoindre le peloton des « tigres » de l'Asie que sont le Japon, la Corée du Sud ou la Chine. Malgré les aléas de l'histoire, et de par l'influence confucéenne, le Vietnam, je l'ai dit, a toujours eu un profond respect pour les valeurs de l'esprit, pour l'éducation et le savoir. Je suis donc revenu donner des cours d'astrophysique à l'université de Hanoi et participer à des colloques d'astronomie. J'ai constaté une grande soif d'apprendre de la part des étudiants. Ce n'est certainement pas la matière grise qui fait défaut, mais plutôt un bon encadrement et des moyens. Le manque de laboratoires, d'ordinateurs et de locaux est criant. J'ai aussi donné une série de conférences sur l'histoire de l'univers. De Saigon à Hanoi, les foules se pressaient pour m'écouter. Le public fait assurément preuve d'une curiosité extrême, avivée par Internet qui met les nouvelles découvertes à la portée de tous. Les questions fusaient sur le big bang, les trous noirs et autres pulsars. Nombre d'auditeurs avaient lu mes livres dont la plupart ont été traduits en vietnamien.

L'astrophysique en tant que discipline universitaire n'existe pas encore au Vietnam, qui ne possède pas de grand télescope. La question se pose donc : est-ce qu'un pays en voie de développement comme le Vietnam doit s'engager dans la voie de la science fondamentale, c'est-à-dire acquérir la connaissance pour la connaissance, et non pas dans un but immédiatement pratique ? Étudier l'origine de l'univers, des galaxies et des étoiles n'augmente certes en rien le niveau de vie de la population ni ne stimule directement le développement économique du pays. Je comprends que le gouvernement préfère investir dans des sciences appliquées telles que la nanotechnologie, l'informatique ou la biotechnologie. Je conçois aussi que le Vietnam doive d'abord développer ses infrastructures (routières et ferroviaires notamment) pour faciliter le commerce et l'industrie, et l'éducation primaire et secondaire pour préparer ses jeunes.

Cela dit, la recherche fondamentale est une condition sine qua non de la prospérité économique de toute grande nation. Les Chinois l'ont

bien compris. Pour atteindre et tenir leur rang de grande puissance, ils ont réalisé que la recherche et la créativité sont incontournables, et qu'une nation forte doit être un leader dans la recherche mondiale. J'ai été surpris de la rapidité avec laquelle la Chine a développé son programme spatial. Elle fait déjà partie du cercle très fermé des nations qui ont la capacité d'envoyer un homme dans l'espace. Ses ambitions visent maintenant la Lune, au moment où la NASA, faute de fonds, se retire de la course. Une vraie volonté politique existe dans l'empire du Milieu en ce qui concerne la recherche fondamentale. Il y a eu un réel engagement pour envoyer les jeunes Chinois se former dans les meilleurs laboratoires de recherche à l'étranger, surtout aux États-Unis et en Europe. Il y a eu aussi une authentique stratégie pour les accueillir au retour, une fois leur formation terminée. Les dirigeants chinois ont compris que, pour endiguer la fuite des cerveaux, il fallait des laboratoires bien équipés afin de permettre aux jeunes diplômés d'exercer leurs talents. Les salaires des chercheurs ont augmenté, et dans certains cas ont même atteint des niveaux internationaux. Ce qui a fait revenir en Chine nombre de professeurs expatriés d'origine chinoise, délaissant les postes qu'ils occupaient dans les universités américaines et européennes les plus prestigieuses.

Plus reculé dans le temps, l'exemple du Japon est saillant. C'est la décision de l'empereur Meiji, à la fin du XIX^e siècle, d'ouvrir le Japon à l'Occident et d'envoyer les jeunes Japonais se former dans les universités de l'Ouest qui a été le moteur de l'essor économique sans précédent du pays du Soleil levant. De retour sur leur terre natale, les Japonais ont copié leurs maîtres pendant un certain temps, avant de les dépasser dans plusieurs domaines. La Corée du Sud a suivi la même voie. Je ne doute pas qu'avec une bonne gestion de la part de ses dirigeants, le Vietnam ne puisse un jour rejoindre ces « tigres » économiques de l'Asie. Il faudra cependant veiller à ce que ce développement se déroule dans le respect de l'environnement. Le Vietnam regorge de sites naturels d'une extrême beauté, qui abritent une faune et une flore parfois uniques au monde. Déjà, le tourisme grandissant et le développement hôtelier défigurent et polluent certains lieux mythiques, telle la baie d'Along, célèbre pour ses innombrables rochers calcaires qui surgissent de l'océan vers le ciel. À l'ère de la mondialisation, porteuse de promesses et d'espérances, mais aussi où l'argent est promu roi, il faudra que le Vietnam puisse se développer sans perdre les valeurs bouddhistes et confucéennes du respect de la nature, de la compassion et du devoir.

Le général Giap me confiait : « Le Vietnam a montré au monde son héroïsme sur le champ de bataille. Montrons-lui maintenant que le pays est capable de gagner la bataille économique. » J'ajouterais : « Et qu'il le fasse sans perdre son âme. »

Un homme et son destin

Je caresse le projet de me réinstaller à Paris quand je n'enseignerai plus et pourrai me consacrer à plein temps à l'écriture. Je me suis toujours senti beaucoup plus proche de la sensibilité française qu'américaine. La conception qu'ont les Français des relations humaines et de la vie me convient mieux. J'ai été vietnamien et américain. Devenir français bouclera la boucle.

De même que je constate une organisation dans l'univers, je me demande s'il en existe une dans les grandes lignes de la destinée d'un homme, sans qu'il perde pour autant son libre arbitre. Plus j'avance sur le chemin de la vie, plus je me dis que certains événements et rencontres ne peuvent être le seul fruit du hasard. Ainsi, serais-je devenu astronome si Charles de Gaulle n'avait pas prononcé son discours de Phnom Penh et ne m'avait pas fait dévier vers l'université qui possédait le plus grand télescope du monde à cette époque ? Mon père aurait-il péri dans le camp de rééducation si mes pas ne m'avaient mené vers l'astrophysicien providentiel de Meudon ? Je ne peux m'empêcher de rapprocher l'organisation que je perçois dans ma vie du concept bouddhiste du karma. Selon le bouddhisme, ce qui nous arrive dans cette vie est la conséquence de tous les actes et pensées de nos vies antérieures. C'est une sorte de loi de cause à effet qui relie notre vie actuelle à toutes celles qui ont précédé et à toutes celles qui suivront. Certains épisodes de mon parcours, quand je les revois, me paraissent trop extraordinaires pour que je ne m'émerveille pas devant leur agencement.

II.

Ce que je cherche : la science dans
tous ses états

Le monde n'est pas un rêve et la lumière est son messenger

La science résulte de la confrontation de l'homme avec le réel. Elle se nourrit sans cesse d'observations et d'informations tirées de la nature par des moyens divers, des expériences de laboratoire aux instruments d'observation les plus perfectionnés. Le point de départ de toute aventure scientifique est donc le fait que le monde existe bel et bien, qu'il n'est pas un produit de notre imagination. Le monde n'est ni un rêve ni une illusion. Qu'il existe est un fait étonnant : « Pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ? » s'interrogeait déjà le philosophe allemand Gottfried Leibniz. Le fait qu'une réalité est bien là stimule chez le chercheur le désir d'entrer en relation avec elle et ouvre la possibilité de la connaissance du monde, donc de la science.

L'astronomie est la seule science où nous ne pouvons pas faire d'expériences : nous ne pouvons ni recréer le big bang en laboratoire ni concocter des étoiles dans des éprouvettes. Alors comment connaître l'univers ? La lumière vient à notre secours. Elle est le messenger du cosmos par excellence. Elle est ma compagne. C'est elle qui me permet de communiquer avec le cosmos et de l'étudier. C'est elle qui véhicule les fragments de musique et les notes éparses de la mélodie secrète de l'univers que l'homme tente de reconstituer dans toute sa glorieuse beauté.

La lumière joue le rôle de messenger cosmique grâce à trois propriétés fondamentales. D'abord, comme je l'ai déjà dit, elle ne se propage pas instantanément, mais met un certain temps pour nous parvenir. Dès lors, nous voyons l'univers toujours avec du retard, et les télescopes nous donnent la possibilité de remonter le temps et de reconstituer le passé.

La lumière porte également en elle un code cosmique qui, une fois déchiffré, nous permet d'accéder au mystère de la composition chimique des étoiles et des galaxies, ainsi qu'au secret de leurs mouvements. Et cela parce que la lumière interagit avec les atomes qui composent la matière visible de l'univers. La lumière n'est en effet perceptible que si elle interagit avec un objet. Comble du paradoxe, elle qui éclaire tout est par elle-même invisible. Pour qu'elle se manifeste, il faut que son trajet soit intercepté par un objet matériel, que ce soient les pétales d'une rose, les pigments colorés sur la palette d'un peintre, la rétine de notre œil ou le miroir d'un télescope. Dépendant de la structure atomique de la matière avec laquelle elle

interagit, la lumière est absorbée à certaines énergies très précises. De sorte que si nous obtenons le spectre de la lumière d'une étoile ou d'une galaxie – en d'autres termes, si nous la décomposons avec un prisme en ses différentes composantes d'énergie ou de couleur –, nous découvrons que ce spectre n'est pas continu, mais haché en de nombreuses raies d'absorption verticales, correspondant aux énergies qui ont été absorbées par les atomes. La disposition de ces raies n'est pas aléatoire, mais le fidèle reflet de l'arrangement des orbites des électrons dans les atomes de matière. Cet arrangement est unique pour chaque élément. Il constitue une sorte d'empreinte digitale, de carte d'identité de l'élément chimique qui permet à l'astrophysicien de le reconnaître sans équivoque. C'est ainsi que la lumière nous dévoile la composition chimique de l'univers.

La lumière permet aussi d'étudier les mouvements des astres. Car rien n'est immobile dans le ciel. La gravité fait que toutes les structures de l'univers – étoiles, galaxies, amas de galaxies... – s'attirent et « tombent » les unes vers les autres. Ces mouvements de chute s'ajoutent au mouvement général d'expansion de l'univers. Tout est mouvement et changement. L'immutabilité aristotélicienne des cieux est bien morte. Nous ne percevons pas cette agitation frénétique parce que les astres sont trop distants, et notre vie humaine trop brève. C'est de nouveau la lumière qui nous révèle cette impermanence du cosmos. Elle change de couleur quand la source lumineuse bouge par rapport à l'observateur. Elle se décale vers le rouge (les raies d'absorption verticales sont déplacées vers de moindres énergies) si l'objet s'éloigne, et vers le bleu (les raies d'absorption verticales sont déplacées vers des énergies plus élevées) si l'objet s'approche. C'est en mesurant ces décalages vers le rouge ou vers le bleu que l'astronome parvient à reconstruire les mouvements cosmiques.

En collectant la lumière du cosmos grâce à ces gigantesques réceptacles que sont les télescopes, je tente de déchiffrer la mélodie secrète de l'univers, d'avoir des ébauches de réponse et d'y voir un peu plus clair. Mon cœur bat toujours à grands coups quand le dessin exquis des bras spiraux d'une galaxie à des milliards d'années-lumière s'esquisse sur l'écran qui relaie le télescope. La lumière me connecte au cosmos. Elle me permet de remonter dans le passé jusqu'à des temps immémoriaux, et de voir le monde en train de naître^[7].

Le monde est beau...

Dans l'esprit populaire, l'activité scientifique est souvent considérée comme une entreprise purement rationnelle, fondée sur la seule logique et dénuée de toute émotion, et la physique comme une science d'où toute contemplation esthétique est bannie. Les jugements de valeur n'y auraient pas droit de cité ; seuls compteraient des faits précis, froids, impersonnels. Pourtant, le scientifique que je suis est tout aussi sensible à la beauté et à l'harmonie de la nature qu'un artiste ou un poète. Dans mon travail, je me laisse souvent guider par des considérations d'esthétique, qui viennent s'ajouter à celles d'ordre rationnel. L'idée d'un travail scientifique dépourvu de tout sentiment est on ne peut plus erronée. L'homme est à la fois raison et émotion, et le scientifique, pas plus que quiconque, ne peut dissocier son affectivité de sa raison quand il tente de dialoguer avec la nature. Les plus grands savants ont exprimé un avis sans équivoque sur le rôle que joue la beauté en science. Écoutons le mathématicien français Henri Poincaré : « Le scientifique n'étudie pas la nature pour un but utilitaire. Il l'étudie parce qu'il y trouve du plaisir ; et il y trouve du plaisir parce que la nature est belle. Si la nature n'était pas belle, elle ne vaudrait pas la peine d'être étudiée, et la vie ne vaudrait pas la peine d'être vécue^{8}. » Je ne peux qu'y souscrire. Pour moi, le désir d'étudier le réel est sans aucun doute motivé en premier lieu par la perception de la beauté du monde.

Qu'est-ce que la beauté en science ? C'est d'abord la beauté physique du monde, celle qui nous saute aux yeux et qui nous éblouit. Ainsi, le Soleil n'est pas seulement source de vie, de lumière et d'énergie ; il est aussi source de splendeur et d'émerveillement. En jouant avec les gouttelettes d'eau, les molécules d'air et les cristaux de glace, en rebondissant sur la surface des grains de poussière, des arbres et des montagnes, en se reflétant sur les eaux des océans et des lacs, ou en se faufilant dans les nuages et les brumes, notre astre solaire est à l'origine de spectacles naturels qui apaisent le cœur et mettent du baume à l'âme. Une beauté qui nous console souvent et parfois nous sauve.

Le monde n'était pas « obligé » d'être beau, mais il se trouve qu'il l'est. Nous vivons dans un monde de merveilles optiques, et le ciel est une toile majestueuse où jouent couleurs et lumières les plus inattendues. Pensez à l'arche multicolore d'un arc-en-ciel qui surgit au milieu des gouttes de pluie à la fin d'un orage, et dont la taille

imposante, l'harmonie des couleurs et la perfection de la forme circulaire constituent un pont entre la poésie et la science, et commandent l'admiration et la révérence. Pensez encore à la spectaculaire beauté des couchers de soleil, ce festival de tons jaunes, orangés et rouges qui illuminent le ciel juste avant que l'astre disparaisse sous l'horizon. Quand nous avons le blues, que la tristesse nous envahit, il suffit parfois de regarder un ciel bleu, ensoleillé et sans nuages pour que notre chagrin s'atténue. Les aurores boréales, ces lumières diffuses dont les couleurs, les formes et les mouvements semblent varier à l'infini, et que nous ne pouvons observer que dans les zones de hautes latitudes, sont d'une magie époustouflante. Nous vivons au milieu d'un monde exubérant de variété et de diversité, où la nature donne sans cesse libre cours à sa créativité et à son inventivité. Lors de mes fréquents voyages jusqu'aux observatoires du monde entier, je suis chaque fois émerveillé par les forêts de cactus dans l'aridité sauvage et majestueuse du désert d'Arizona où se dresse l'observatoire de Kitt Peak, ou par la splendeur de la cordillère des Andes chiliennes où se situe l'Observatoire européen austral. Parce qu'elle est inépuisable, la magnificence de la nature ne me laisse jamais indifférent.

... et ordonné

Mais la beauté du monde excède celle perçue par les yeux. Je ressens aussi intensément une beauté d'ordre plus abstrait, que m'inspirent sa cohérence et son ordre. Si l'univers était totalement chaotique, s'il ne possédait aucune sorte de régularité, je ne pourrais pas faire de science. Les succès époustouflants de la science, rapportés et diffusés quasi instantanément par Internet, nous font oublier que c'est presque un miracle qu'elle soit possible. C'est le cas parce que la nature présente des régularités, parce que son comportement peut être décrit par ce que nous appelons des « lois ».

Une loi est, selon *Le Petit Larousse*, une « proposition générale énonçant des rapports nécessaires et constants entre des faits scientifiques ». La beauté qui me captive vient du fait qu'à partir d'un petit nombre de lois simples et synthétiques, la nature a su créer l'extraordinaire complexité et variété du monde. Le naturaliste Charles Darwin exprime admirablement cette fascination quand il écrit dans *L'Origine des espèces*, à propos de sa théorie de l'évolution des formes vivantes : « À partir d'un commencement aussi simple, un nombre infini de formes, toutes plus belles et plus merveilleuses les unes que les autres, se sont développées et continuent à évoluer⁽⁹⁾. »

Le concept de « loi de la nature » a mis longtemps à émerger. Il y a quelques dizaines de milliers d'années, nos lointains ancêtres étaient déjà conscients de la régularité des phénomènes célestes qui témoignaient une constance cruellement absente des affaires et des relations humaines. La régularité inexorable de la course du Soleil à travers le ciel durant la journée, la Lune qui change d'apparence à intervalles réguliers pendant le mois, les saisons qui se suivent immuablement d'année en année : cette ponctualité céleste, jamais prise en défaut, était comme une sorte d'assurance contre l'incertitude du lendemain. Le Soleil qui revient illuminer le jour après les ténèbres de la nuit marquait comme une renaissance après la mort.

L'homme antique voyait dans cette régularité des deux une sorte de gage de l'immortalité de son esprit. Les dolmens et les menhirs de Stonehenge en Angleterre, posés au III^e millénaire av. J.-C., à l'époque où le roi Hammourabi régnait à Babylone et les pharaons du Moyen Empire en Egypte, et alignés dans la direction des levers et couchers de soleil à certaines époques de l'année, sont des témoins silencieux de cette connaissance. Mais bien des phénomènes naturels leur paraissaient aussi mystérieux et imprévisibles. Ainsi les éruptions des

volcans, les tremblements de terre, les ouragans et autres tempêtes semblaient arriver sans crier gare. L'homme des cavernes dotait alors le monde d'esprits qui pouvaient avoir un comportement aussi prévisible que fantasque. Nos ancêtres vivaient dans un univers magique au sein duquel l'esprit Soleil éclairait l'esprit Terre le jour, pour laisser la place à l'esprit Lune la nuit ; l'esprit Arbre leur donnait des fruits et ils butaient contre l'esprit Pierre. Ainsi l'univers était simple, familier, à dimension humaine.

Cette familiarité et cette innocence disparurent avec l'accumulation du savoir. Il y a environ dix mille ans, l'univers magique fit place à l'univers mythique. Les esprits désertèrent les arbres, les fleurs et les rivières, et cédèrent le pas à des dieux aux pouvoirs surhumains. Tous les phénomènes naturels, y compris la création du monde, étaient désormais les conséquences des agissements, amours et accouplements, haines et déchirements de ces dieux.

Pourtant, au beau milieu de cet univers mythique, vers le VI^e siècle av. J.-C., survint le miracle grec qui sema les germes de l'univers scientifique tel que nous le connaissons aujourd'hui. Les Grecs eurent cette pensée révolutionnaire selon laquelle les événements naturels ne relevaient pas seulement des dieux, mais que la raison humaine pouvait également les appréhender. Ils jetèrent un regard curieux et inquisiteur sur des sujets aussi divers et variés que la structure de l'univers, la composition de la matière, la nature du temps, la géométrie et les mathématiques, les phénomènes biologiques, météorologiques et géologiques. Mais, pourtant, le concept de loi naturelle tel que nous le concevons aujourd'hui leur était encore inconnu. Aristote expliquait le comportement d'un système naturel non par des lois, mais en termes de cause finale. Pour lui, un système physique, tout comme un être vivant, avait un comportement téléologique, c'est-à-dire qu'il se conduisait de manière à atteindre un but. Le philosophe échafauda un système causal élaboré en distinguant quatre sortes de causes différentes. Ainsi, à la question : « Pourquoi pleut-il ? », le philosophe grec ne répondit pas simplement que la pluie tombe parce que l'air, en se refroidissant, provoque la condensation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère en gouttelettes qui tombent sur la surface de la Terre, attirées par sa gravité, comme le ferait un météorologue d'aujourd'hui ; il distingua entre la cause matérielle que constituent les gouttelettes d'eau, la cause efficace qui fait que la vapeur d'eau se condense en gouttes de pluie, et la cause formelle faisant que les gouttes d'eau tombent sur la surface de la Terre. Mais, au lieu d'invoquer la gravité de la Terre pour expliquer la chute des gouttes d'eau, Aristote fit appel à une cause finale : les gouttes d'eau tombent sur la Terre parce que les plantes, les animaux

et les hommes ont besoin d'eau pour vivre et croître. Il était intéressé par le « pourquoi » plutôt que par le « comment » des choses. Pour lui, les lois physiques restaient des constructions intellectuelles, et l'idée d'une science fondée sur l'expérimentation et l'observation lui était étrangère.

La notion de loi qui nous est familière fit son apparition en Occident avec l'émergence des religions monothéistes. Les lois qui dictaient le comportement des systèmes physiques ne leur étaient plus inhérentes, mais imposées de l'extérieur par un Être suprême. La nature devint un domaine gouverné par Dieu à coups de décrets divins. Quand la science moderne émergea en Europe au XVI^e siècle, les premiers hommes de science travaillaient avec la conviction que l'ordre et les régularités de la nature reflétaient le vaste plan d'un Dieu créateur et dispensateur de lois, et qu'ils exaltaient sa gloire en révélant ce plan. L'astronome et grand mystique allemand Johannes Kepler rechercha ainsi la perfection de Dieu dans les mouvements des planètes. Pour le physicien anglais Isaac Newton, l'univers était une vaste machine réglée de façon extrêmement précise par un Dieu-ingénieur rationnel. Dieu était source et garant de toute la rationalité de la nature, rationalité qui permettait à la raison humaine – elle-même don de Dieu – d'appréhender le cosmos. Galilée introduisit la méthode scientifique en affirmant que le but de la science est de rechercher des relations quantitatives entre des phénomènes physiques a priori déconnectés, et que cette recherche doit être fondée sur l'observation et l'expérimentation.

Parce que la machine, une fois remontée, fonctionnait d'elle-même, Dieu s'éloigna de plus en plus. La raison régnait en maître, reléguant la foi au second plan. Jusqu'au jour où Dieu ne fut plus nécessaire. À la fin du XVIII^e siècle, en réponse à Napoléon Bonaparte qui lui reprochait de n'avoir pas mentionné une seule fois le Grand Architecte dans son ouvrage *La Mécanique céleste*, le marquis Pierre Simon de Laplace s'écria : « Sire, je n'ai pas besoin de cette hypothèse ! » Depuis, science et religion n'ont cessé de s'éloigner l'une de l'autre. Aujourd'hui, la plupart des scientifiques étudient les régularités de la nature, qu'ils appellent « lois », sans se poser – du moins publiquement – la question de leur origine.

L'esprit des lois

Les lois naturelles possèdent un ensemble de propriétés généralement admises qui rappellent étrangement celles qui sont attribuées à Dieu.

Elles sont d'abord universelles, s'appliquant partout dans l'univers. Je suis toujours admiratif devant la grande unité de la nature quand je constate que les lois physiques qui régissent une galaxie située aux confins de l'univers, dont la lumière a été émise avant même que certains atomes de mon corps ne soient fabriqués par l'alchimie nucléaire d'une étoile, sont les mêmes que celles qui s'appliquent à notre petit coin de Terre, grain de sable dans le vaste océan cosmique. Où que nous pointions nos télescopes dans l'espace, de semblables phénomènes physiques se présentent à nous.

En deuxième lieu, les lois naturelles sont absolues. Elles ne dépendent ni de la personne qui les étudie ni de l'état du système observé. Un astrophysicien américain déduira exactement les mêmes lois que son collègue vietnamien. Un extraterrestre dans une autre galaxie formulera les mêmes lois qu'un Terrien.

Troisième point : les lois sont éternelles et intemporelles. Bien qu'elles relient ensemble des états distincts d'un même système à des époques différentes, elles ne varient pas elles-mêmes en fonction du temps. Nous le savons car, grâce à ces machines à remonter le temps que sont les télescopes, nous constatons que les propriétés des galaxies lointaines, vues dans leur enfance, peuvent s'expliquer avec les mêmes lois physiques qui régissent les galaxies proches, vues dans leur maturité.

Quatrièmement, elles sont omnipotentes. Rien dans l'univers n'échappe à leur emprise, du plus petit atome au plus grand amas de galaxies.

Enfin, elles sont omniscientes, en ce sens que les systèmes physiques dans l'univers n'ont pas à les « informer » de leurs états particuliers pour que ces lois agissent sur eux. Elles « savent » à l'avance.

Deux niveaux de réalité

Quand je tente de comprendre le monde, je me trouve aussitôt confronté à une dichotomie profonde : entre le temporel et l'intemporel, le devenir et l'être ou, en termes bouddhistes, entre l'impermanence et la permanence. Il existe indubitablement un élément de permanence dans nos vies : nous nous reconnaissons dans le miroir quand nous nous levons le matin ; il y a une certaine constance dans la personnalité des êtres qui nous entourent ; les meubles de notre demeure, les arbres de notre jardin, les rues de notre quartier, les montagnes qui se profilent à l'horizon, le soleil qui se lève chaque matin, la pleine lune qui est de retour tous les mois, les couleurs ocre et mauves de l'automne qui reviennent chaque année, tout arbore un air de quasi-stabilité. Pourtant, sous cette apparence de quasi-permanence se cachent une impermanence continue, un flux ininterrompu de changements, un incessant festival de transformations : au fil des ans, nos cheveux blanchissent, notre peau se ride ; les êtres de notre entourage changent non seulement physiologiquement mais aussi psychologiquement ; les meubles ternissent ou se cassent, les arbres s'étiolent et les montagnes s'érodent ; la Lune ne jettera plus sa douce clarté et l'automne ne reviendra plus quand le Soleil mourra, dans 4,5 milliards d'années. L'univers lui-même est en perpétuelle évolution : né d'un vide rempli d'énergie il y a environ 13,7 milliards d'années, il va continuer à se dilater et à se refroidir jusqu'à la fin des temps.

Ainsi, des lois immuables et intangibles qui dictent le comportement de la nature, lui conférant cet air de quasi-permanence, s'appliquent à un univers en perpétuelle évolution. Comment concilier l'impermanence avec la permanence ?

Pour tenter de répondre à cette question, je cherche du côté de Platon. Celui-ci pensait qu'il y avait deux niveaux de réalité : la réalité du monde physique accessible à nos sens et à nos instruments de mesure, un monde impermanent, changeant, éphémère et illusoire ; et celle du vrai monde des Idées, éternelles et immuables. Selon le philosophe grec, le monde sensible et temporel n'était que le pâle reflet du monde des Idées. Pour illustrer la dichotomie entre les deux, Platon introduisit dans son dialogue *La République* la fameuse allégorie des hommes enfermés dans la caverne : il existe au-dehors un monde vibrant de couleurs, de formes et de lumière que les hommes ne peuvent pas voir et auquel ils n'ont pas accès ; tout ce

qu'ils perçoivent, ce sont les ombres projetées par les objets et les êtres vivants du monde extérieur sur les parois de la caverne ; au lieu de l'exubérance des couleurs et de la netteté des formes de la glorieuse réalité, ils n'ont droit qu'à la sombre tristesse et aux contours flous des ombres.

Parce qu'il y a deux niveaux de réalité, l'homme, selon Platon, possède aussi une nature double : il a un corps matériel, qui change et vieillit au fil du temps, et grâce auquel il évolue et communique avec le monde imparfait et impermanent des sens, mais il possède aussi une âme immortelle douée de raison qui peut accéder au monde des Idées. L'âme existe avant le corps, mais dès qu'elle intègre son enveloppe charnelle, elle oublie qu'elle a été en contact avec le monde des Idées. À mesure qu'elle découvre les formes naturelles du monde des sens, une mémoire vague et distante du monde des Idées lui revient. L'homme réalise que, quand il voit une rose, il n'a devant les yeux que la manifestation imparfaite de l'idée d'une fleur parfaite. D'où une nostalgie constante de la perfection, et le désir ardent de l'âme (Platon appelle ce désir *éros*) de s'en retourner dans le monde parfait des Idées, son vrai lieu de résidence.

Pour Platon, le monde changeant, impermanent, éphémère et illusoire, accessible à nos sens, semblable au monde des ombres, n'est qu'une pâle représentation du monde des Idées. Or le monde des Idées, « illuminé par le soleil de l'intelligible », est aussi celui où régissent les relations mathématiques, les structures géométriques parfaites. Pour moi, les lois physiques résident également dans le monde des Idées, d'où leur caractère immuable et permanent.

Des lois physiques découvertes ou inventées ?

S'il existe un certain consensus sur les propriétés des lois naturelles, il n'en va pas de même s'agissant de leur statut : ces lois nous révèlent-elles des régularités réelles dans la nature – position dite « réaliste » – ou ne sont-elles que de purs produits de l'imagination de l'homme – position dite « constructiviste » ? La loi de la gravitation universelle de Newton ou les lois de la relativité d'Einstein traduisent-elles des relations essentielles et objectives dans la nature, ou bien ne sont-elles que des inventions géniales de ces deux physiciens pour décrire des régularités perçues subjectivement par eux ? Le réaliste s'inscrit dans la lignée de Platon et soutient que les lois résident dans le monde des Idées, qui possède une réalité distincte du monde sensible. À l'inverse, le constructiviste maintient que les lois naturelles n'existent que dans l'imagination fertile des physiciens et n'ont d'existence réelle que dans les neurones et les synapses des scientifiques.

Entre ces deux positions diamétralement opposées, je me place résolument du côté des réalistes. Je suis convaincu que les régularités que je perçois dans l'univers grâce à mon télescope ne sont pas une création de mon esprit. Je n'invente pas les étoiles jeunes qui naissent dans les pouponnières stellaires, ni les formes spirales qui ornent certaines galaxies. Le constructiviste rétorquera que l'esprit humain a souvent tendance à voir des régularités et motifs là où il n'en existe pas. Il citera par exemple les régularités que les Anciens croyaient percevoir dans les constellations du ciel, régularités qui existaient seulement dans l'esprit des hommes puisque les formes attribuées à ces constellations – celles d'un ours, d'un cygne ou d'une lyre – variaient selon les cultures et les époques. Malgré cette tendance imaginative de l'esprit humain, je pense que le constructiviste a tort quand il s'agit de ce que nous appelons « lois de la nature ». Ces lois reflètent des régularités réelles qui ne sont pas un produit de notre imagination, et existent indépendamment de nous.

Plusieurs raisons me poussent à adopter la position réaliste. D'abord, mon activité scientifique n'aurait aucun sens si les régularités que je perçois étaient imaginaires. Ensuite, les lois déduites de régularités perçues ne se limitent pas à ce que l'esprit connaît déjà. Elles apportent souvent de la nouveauté, révèlent des motifs inédits et inattendus dans la nature, qui surprennent même le découvreur de ces lois. En effet, les grandes théories physiques ne se bornent pas à

décrire des régularités déjà saisies par l'esprit ; elles nous mènent à des contrées inexplorées, par des chemins inconnus, à d'autres harmonies insoupçonnées. En construisant sa théorie de la relativité restreinte, Einstein ne se doutait pas qu'elle lui dirait que la matière peut se transformer en énergie et que c'est cette équivalence matière-énergie qui fait que le Soleil brille, mais qui fut aussi responsable de la dévastation d'Hiroshima et de Nagasaki. Einstein n'imaginait pas que sa théorie de la relativité générale lui révélerait que l'univers est en expansion, qu'elle mènerait à des objets aussi fantastiques et exotiques que les pulsars, trous noirs ou autres lentilles gravitationnelles. La troisième raison qui me fait penser que les lois naturelles ne sont pas de pures constructions de l'esprit est qu'elles s'expriment toutes dans un langage commun, celui des mathématiques. Or il y a d'excellentes raisons de supposer que les mathématiques ne sont pas une invention de l'homme, mais habitent un monde platonicien des Idées complètement indépendant du monde sensible.

La nature parle mathématiques

La nature est donc belle parce qu'elle possède un ordre, parce qu'elle est régie par des lois. Plus étonnant encore, ces lois peuvent être exprimées en termes mathématiques. « Le nombre est le principe et la source de toute chose », proclamait déjà Pythagore au VI^e siècle av. J.-C. Quelque vingt-deux siècles plus tard, Galilée arrive au même constat : « Le livre de la nature est écrit dans un langage mathématique. » Le surprenant succès des mathématiques à décrire le réel constitue l'un des plus profonds mystères qui soient, car il n'est pas du tout évident que tel devrait être le cas. Pourquoi des entités abstraites, sorties de l'esprit des mathématiciens, et qui, en général, ne nous sont d'aucune utilité dans la vie courante, se trouvent-elles au diapason des phénomènes naturels ? Pourquoi la pensée pure rejoint-elle ainsi le concret ? Le physicien hongro-américain Eugene Wigner a exprimé son étonnement devant cette adéquation en parlant de l'efficacité déraisonnable des mathématiques^[10] » à décrire la nature. Je suis moi-même toujours émerveillé quand je pense qu'avec des lois physiques exprimées en termes mathématiques, la NASA a pu envoyer un homme sur la Lune.

D'aucuns ont avancé que le succès des mathématiques à décrire le monde n'est qu'un phénomène culturel : l'évolution darwinienne a façonné le cerveau de l'homme de façon à lui faire aimer les mathématiques, ce qui le pousse à ne rechercher que les aspects de la nature susceptibles d'être décrits par ce langage. Des extraterrestres qui auraient suivi une évolution biologique totalement différente et qui seraient dotés de cerveaux qui ne ressembleraient pas aux nôtres ne penseraient pas que la nature est mathématique. Il est vrai que les scientifiques sélectionnent volontiers, parmi tous les problèmes que leur pose le monde, ceux qui sont susceptibles d'être résolus mathématiquement. Ses aspects les moins adaptés à un tel traitement sont souvent délaissés et négligés. Certains chercheurs vont même jusqu'à déclarer « fondamentaux » les seuls aspects de la nature qui peuvent être traités mathématiquement, ce qui les pousse à conclure de façon tautologique que « les aspects fondamentaux de la nature sont mathématiques » ! D'autres ont suggéré que l'adéquation extraordinaire entre les mathématiques et la nature résulte du fait que le monde naturel permet des opérations arithmétiques telles que l'addition, la soustraction ou la multiplication. Nos ancêtres utilisaient l'arithmétique dans le but bien pratique de compter les

moutons des troupeaux ou les pièces de monnaie dans une bourse. Compter, additionner ou soustraire nous semblent des opérations tellement banales et naturelles que nous ne pouvons pas concevoir un monde où elles ne seraient pas possibles. Pourtant, dans un univers où les objets matériels ne seraient pas séparés en entités distinctes, où les moutons et les pièces de monnaie auraient constitué des objets non séparés et continus, telles les eaux d'un fleuve, ces opérations ne pourraient avoir lieu.

Le fait que le monde physique permette les opérations arithmétiques a une conséquence inestimable : il est calculable, ce qui permet la science, je l'admets. Mais je ne pense pas pour autant que le caractère mathématique du monde soit un phénomène purement culturel et qu'il résulterait seulement du fait que nous pouvons compter des entités distinctes ou de la prédilection des hommes pour les mathématiques. À mon sens, l'« efficacité déraisonnable des mathématiques » à décrire le monde naturel vient de ce que les lois naturelles résident dans un monde platonicien d'Idées, de pures entités qui agissent sur notre monde. Cette hypothèse explique aussi pourquoi l'univers nous est compréhensible.

« Ce qui est le plus incompréhensible, c'est que le monde soit compréhensible. » Cette phrase d'Einstein exprime son étonnement devant le fait que l'homme est doué de la capacité de comprendre l'univers. Après tout, nous aurions très bien pu habiter un univers dont l'organisation soit si complexe qu'elle dépasse notre entendement, et où nous nous serions contentés de subir les lois naturelles sans avoir la moindre idée de ce qu'elles sont. Le fait que nous réussissions à donner une explication au monde par la science n'est-il que le résultat d'un heureux hasard, ou bien a-t-il en quelque sorte été « programmé » ? Notre aptitude à connaître l'univers est-elle un pur accident, ou bien était-il inévitable que des organismes biologiques émergeant de l'ordre cosmique exaltent cet ordre en le comprenant ? Nos avancées scientifiques extraordinaires ne sont-elles qu'un simple accident de parcours dans la longue histoire de l'univers, ou bien la conséquence d'une intime connexion cosmique entre l'homme et le monde ?

Pour le réaliste que je suis, les lois physiques et les entités mathématiques constituent un vaste paysage que nous pouvons explorer et découvrir avec notre raison, tout comme nous pouvons explorer le désert du Sahara ou la forêt amazonienne. Les nombres entiers ou les figures géométriques ne naissent pas de notre esprit. Ils sont simplement là, que les êtres humains en soient conscients ou non. René Descartes, réaliste convaincu, écrit dans ses *Méditations métaphysiques* à propos de la figure géométrique du triangle : « Lorsque j'imagine un triangle, encore qu'il n'y ait peut-être en aucun

lieu du monde hors de ma pensée une telle figure, et qu'il n'y en ait jamais eu, il ne laisse pas néanmoins d'y avoir une certaine nature ou forme, ou essence déterminée de cette figure, laquelle est immuable et éternelle, que je n'ai point inventée et qui ne dépend en aucune façon de mon esprit^{11}. » Le mathématicien britannique Roger Penrose dit, quant à lui : « Les concepts mathématiques semblent posséder une réalité profonde... C'est comme si la pensée humaine était guidée vers une vérité extérieure, une vérité qui a sa réalité propre et qui n'est que partiellement révélée à chacun d'entre nous^{12}. »

Pour moi, un scientifique qui explore le paysage mathématique ou physique dans l'espace mental est tout autant un explorateur de l'inconnu que le commandant Cousteau découvrant les splendeurs du monde sous-marin, ou que sir Edmund Hillary conquérant le mont Everest. Comme de toute exploration, des contrées inconnues surgissent, des phénomènes nouveaux émergent. La vérité qui jaillit de l'étude de certaines entités mathématiques et physiques est infiniment plus riche que celle dont le mathématicien disposait initialement. Le physicien allemand Heinrich Hertz décrit ainsi cette nouveauté en ce qui concerne les mathématiques : « Nous ne pouvons nous empêcher de penser que les formules mathématiques ont une vie propre, qu'elles en savent plus que leurs découvreurs et qu'elles nous donnent plus que nous leur avons donné. »

L'illumination scientifique

Au cours d'une vie scientifique, il existe quelques rares moments privilégiés où le contact avec le monde des Idées s'établit de façon inattendue : tout d'un coup, les ténèbres dans lesquelles vous avez été plongé des jours durant se dissipent et vous voyez briller le « soleil de l'intelligible ». Soudainement, un pan du mystère est levé et la solution du problème avec lequel vous vous êtes débattu pendant des mois, voire des années, se dresse devant vous, certaine et aveuglante. C'est la découverte scientifique.

Ce bref contact avec le monde des Idées semble être le plus évident dans le domaine des mathématiques. Voici comment Roger Penrose le décrit : « J'imagine que quand l'esprit perçoit une idée mathématique, il entre en contact avec le monde platonicien des concepts mathématiques... Ces vérités éternelles semblent avoir une existence antérieure dans un monde éthéré^{13}. » L'accès à la vérité se produit de façon fulgurante, sans préparation apparente, au moment où l'on s'y attend le moins. Le mathématicien allemand Carl Gauss décrit ainsi sa soudaine inspiration après des années de vaines recherches sur un théorème d'arithmétique : « Comme en un éclair subit, l'énigme se trouva résolue. Je ne puis dire moi-même de quelle nature a été le fil conducteur reliant ce que je savais déjà à ce qui a rendu mon succès possible. » La soudaineté, la brièveté et la certitude immédiate sont caractéristiques de l'illumination mathématique. L'exemple du mathématicien français Henri Poincaré mérite d'être à nouveau évoqué. Poincaré raconte comment la solution à un problème mathématique qui lui avait échappé depuis des semaines lui apparut tout d'un coup claire comme le jour : « À ce moment, je quittai Caen, que j'habitais alors, pour prendre part à une course géologique entreprise par l'École des mines. Les péripéties du voyage me firent oublier mes travaux mathématiques ; arrivant à Coutances, nous montâmes dans un omnibus pour je ne sais quelle promenade ; au moment même où je mettais le pied sur le marchepied, l'idée me vint, sans que rien dans mes pensées antérieures parût m'y avoir préparé... Je ne fis pas la vérification ; je n'en aurais pas eu le temps, puisque, à peine assis dans l'omnibus, je repris la conversation commencée ; mais j'eus tout de suite une entière certitude... De retour à Caen, je vérifiai les résultats à tête reposée pour l'acquit de ma conscience^{14}... »

Je suis persuadé que, malgré son apparence magique, ce bref contact avec le monde des Idées n'arrive pas par hasard et qu'il ne

survient que dans des esprits bien préparés. Mais cette préparation ne s'accomplit pas de manière consciente ; elle est plutôt le fruit d'un long travail de gestation de l'inconscient.

Le processus de la création scientifique est étonnamment proche de celui de la création artistique. Le scientifique, quand il découvre un aspect caché de la nature, et l'artiste, quand il crée une œuvre d'art, ressentent tous deux le même sentiment exaltant de s'être approchés un très bref instant de la Vérité éternelle et d'avoir soulevé un modeste pan du Grand Mystère. Mais il existe une différence de taille entre création scientifique et création artistique. Les lois de la nature et les mathématiques possèdent un caractère universel. Dans leur forme aboutie, elles ne portent pratiquement pas l'empreinte de leur auteur, alors qu'une œuvre d'art est fortement marquée par le style et les particularités de l'artiste. Nous reconnaissons instantanément les sculptures longilignes de Giacometti, un tableau pointilliste de Seurat ou une peinture cubiste de Picasso. Par contre, des mathématiciens de cultures et de traditions différentes travaillant dans des sociétés diverses et utilisant des méthodes de démonstration qui ne sont pas toujours identiques arrivent à des résultats semblables et aboutissent aux mêmes théorèmes.

Afin d'expliquer cette concordance, je rejoins Penrose pour qui elle vient du fait que chaque mathématicien (et plus généralement chaque scientifique) « a eu un accès direct à la Vérité et a été en contact avec le *même* monde des Idées^[15] ». Je pense que même si Newton et Einstein n'avaient pas existé, les théories de la gravitation universelle et de la relativité du temps et de l'espace auraient été découvertes, peut-être pas exactement sous la même forme que celles conçues par les deux physiciens, mais dans les grandes lignes, tôt ou tard, par d'autres chercheurs. Et cela parce que les lois naturelles résident dans le monde des Idées auquel tout physicien inspiré a accès. Alors qu'il est beaucoup plus difficile de concevoir que *Les Nymphéas* auraient été peints sans Monet, que *La Flûte enchantée* aurait été composée par quelqu'un d'autre que Mozart, ou qu'*À la recherche du temps perdu* aurait pu jaillir de la plume d'un autre écrivain que Marcel Proust.

Les lois naturelles et les mathématiques possèdent donc un caractère objectif, distinct de la personne qui les découvre, alors que les œuvres artistiques et littéraires reflètent la personnalité de leurs auteurs. Le scientifique explore le monde objectif, l'artiste se concentre davantage sur le monde subjectif, intérieur. C'est d'ailleurs cette objectivité qui fait que la science se pratique volontiers en collaboration, tandis qu'il est en général plus difficile de travailler à plusieurs à une même œuvre d'art.

Préjugés scientifiques et connaissance objective

La science naît du contact de l'homme avec le réel. De ce contact, le scientifique espère tirer une connaissance objective des comportements de la nature. Pourtant, au cours des dernières décennies, quelques universitaires français et américains ont remis en cause cette thèse : pour eux, une réalité scientifique objective n'existerait pas, et la science serait avant tout une affaire culturelle qui dépendrait non seulement de la société et de la culture au sein desquelles travaille le chercheur, mais aussi du sexe ou de l'origine ethnique de ce dernier. De ce point de vue, ce que les scientifiques appellent les « faits de la nature » ne seraient que des constructions intellectuelles sans aucun fondement objectif. Cette vision des choses antiréaliste - baptisée pompeusement « postmodernisme », ou « déconstructionnisme » par le philosophe français Jacques Derrida sous l'influence de l'Allemand Martin Heidegger, ou encore « multiculturalisme » – déclare que la science est politiquement incorrecte : elle n'est qu'une invention d'hommes blancs occidentaux, ayant pris son essor en Europe. Cette science mâle et occidentale a ensuite envahi le monde, étouffant les voix des femmes et celles des minorités ethniques. La science n'est nullement authentique, elle n'est qu'une affaire de mode, allant de révolution en révolution, sans direction aucune. Elle n'est pas un processus permettant de découvrir la vérité ultime de la nature, mais une simple construction sociale qui change au cours du temps.

Je m'élève résolument contre ce genre de position. Je reconnais bien sûr que le scientifique ne travaille pas dans une bulle, qu'il accomplit ses recherches au sein d'une culture donnée. J'admets évidemment que le chercheur, même s'il s'en défend, ne peut s'empêcher de partager, de manière consciente ou inconsciente, les préjugés métaphysiques de la société dont il fait partie. Un exemple saillant me vient à l'esprit. La mécanique quantique a établi que la lumière a une nature duelle, qu'elle prend l'apparence d'une onde ou d'une particule selon l'action de l'observateur. Si l'appareil de mesure est activé, la lumière est particule, sinon elle est onde. En Orient, un physicien bouddhiste ne sera pas pris de court par cette situation. Pour lui, la lumière n'a pas d'existence propre, parce qu'elle est interdépendante de l'observateur, l'interdépendance étant l'un des principes fondamentaux du bouddhisme. Puisque tout est interdépendant, rien ne peut se définir et exister par soi-même. Il va

donc de soi que la nature de la lumière se définit en fonction de l'acte d'observation du physicien. Par contre, en Occident où l'idée d'une réalité solide intrinsèque est fortement ancrée, existant indépendamment de tout, et en particulier de l'observateur, il est plus difficile de concevoir que la lumière puisse avoir une nature duelle, dépendant de l'acte d'observation. Je ne pense pas que ce soit par accident que les fondateurs de la physique quantique, tels Niels Bohr et Erwin Schrödinger, aient plaidé pour une unité de pensée entre la science occidentale et les philosophies de l'Orient. Ils percevaient dans la pensée orientale une issue possible permettant de sortir des nombreux paradoxes inhérents à la mécanique quantique appréhendée selon un schéma occidental. Pour Bohr, « parallèlement aux leçons de la théorie atomique [...] nous devons nous tourner vers les problèmes épistémologiques auxquels des penseurs comme le Bouddha et Lao-tseu ont été déjà confrontés, en essayant d'harmoniser notre situation de spectateurs et acteurs dans le grand drame de l'existence^{16} ».

Il est également évident que dans l'interprétation des résultats scientifiques que j'obtiens, je suis inévitablement influencé par ma formation professionnelle : l'apprentissage auprès de mes maîtres, les discussions avec mes collègues, la lecture des travaux publiés dans la littérature scientifique. Et cela parce qu'une fois réalisées, les observations du monde extérieur faites avec les télescopes et autres instruments sont analysées et interprétées à la lumière du monde intérieur des concepts et des théories. Par exemple, je ferai appel à une théorie de l'évolution des étoiles ou de la formation des galaxies pour comprendre mes résultats. L'adhésion à une théorie plutôt qu'à une autre n'est pas non plus dépourvue de préjugés. Le chercheur peut être influencé par les vues de ses maîtres et de ses collègues proches (ce qu'on appelle une « école » scientifique), voire par des phénomènes de mode. Or, en science comme dans tout autre domaine, il faut se méfier des modes. Une théorie qui rallie la majorité des voix à un moment donné n'est pas nécessairement la bonne. La plupart de ceux qui l'adoptent le font non pas après un examen critique, mais par conformisme et inertie intellectuelle, ou encore parce que cette théorie est défendue par quelques chefs de file particulièrement éloquents ou influents.

En tant qu'être pensant, je ne peux donc pas observer le réel de manière totalement objective. Je ne pourrai jamais être sûr que les concepts issus de mon esprit correspondent exactement à la réalité. Einstein l'exprimait ainsi : « Les concepts physiques sont de libres créations de l'esprit humain, même s'ils ont l'air d'être déterminés uniquement par le monde extérieur. Nos efforts pour appréhender la réalité ressemblent à ceux de quelqu'un qui cherche à comprendre le

mécanisme d'une montre fermée. Il voit le cadran et les aiguilles qui bougent, il entend le tic-tac, mais il n'a aucun moyen d'ouvrir le boîtier. S'il est ingénieux, il se forge l'image d'un mécanisme qui serait responsable de tout ce qu'il observe, mais il ne pourra jamais être certain que son image soit la seule capable d'expliquer ses observations. Il ne pourra jamais comparer son modèle avec le mécanisme réel, et ne peut même pas imaginer la possibilité que cette comparaison ait un sens^{17}. »

Mais même en admettant que l'on puisse subir des influences culturelles et psychologiques au moment de l'interprétation de données expérimentales ou de l'élaboration d'une théorie physique et surtout, comme dans le cas de la physique quantique, au moment de son interprétation, j'ai l'intime conviction que toute influence culturelle ou sociétale est éliminée d'une théorie dans sa forme finale, et que celle-ci parvient à donner une description fiable et objective de la réalité dans son état abouti. À preuve, le monde des physiciens a bien évolué ces dernières décennies, en incluant plus de femmes et de scientifiques venus d'autres parties du monde, en particulier d'Asie. Pourtant, les deux théories qui constituent les piliers de la physique contemporaine – la mécanique quantique et la relativité –, élaborées entièrement à leurs débuts par des Européens mâles et blancs, n'ont guère évolué. Ce qui a changé, c'est la manière dont nous envisageons leur domaine de validité et la façon dont nous les interprétons. Par exemple, depuis le début du XX^e siècle, nous savons que la théorie de la gravité de Newton, selon laquelle le temps et l'espace sont considérés comme universels, n'est plus valide dès que nous nous déplaçons à des vitesses proches de celle de la lumière. Dans ce cas, c'est la théorie de la relativité restreinte d'Einstein qui prend la relève ; le temps et l'espace n'y sont plus absolus mais varient en fonction de la vitesse de l'observateur : comparé au temps et à l'espace d'une personne immobile, celui qui se déplace très vite voit son temps passer moins vite et son espace se rétrécir. Mais dans la vie courante où les vitesses sont minimales par rapport à celle de la lumière, la théorie de Newton fonctionne parfaitement pour décrire la réalité.

Quant à la mécanique quantique, ce n'est pas tant son domaine de validité que son interprétation philosophique qui fait débat et est susceptible d'évoluer. Ainsi Einstein, à cause de son attachement philosophique au déterminisme, ne pouvait accepter la description en termes de probabilités de la réalité atomique et subatomique qu'offre la physique quantique. Celle-ci fait valoir en effet que la position d'une particule de matière, avant qu'elle ne soit captée par un instrument de mesure, ne peut être décrite que par une onde de probabilité. Le physicien a passé de longues années à tenter de

trouver des failles dans la théorie, sans jamais y parvenir. « Dieu ne joue pas aux dés », ne cessait-il de répéter. Ce qui poussa Bohr, exaspéré, à lui répliquer un jour : « Cessez de dire à Dieu ce qu'il doit faire ! » Les expériences ont toujours, jusqu'ici, donné tort à Einstein et confirmé l'interprétation probabiliste de la mécanique quantique. En fait, très peu de physiciens se sont penchés sérieusement sur les implications philosophiques de la mécanique quantique. Pour la grande majorité des chercheurs, c'est simplement une théorie physique extrêmement fonctionnelle, qui permet de rendre compte avec une précision inégalée du comportement de la matière au niveau subatomique et de son interaction avec la lumière. Parce qu'elle donne une description de la réalité sans être entachée d'aucun bagage culturel, la physique quantique est considérée comme un outil d'une efficacité sans pareille pour construire transistors, lasers, puces, ordinateurs et autres instruments qui ont considérablement modifié et enrichi nos modes de vie.

Le canular de Sokal

On l'aura compris, je suis totalement opposé aux postmodernistes qui prétendent que les lois de la nature découvertes par les scientifiques ne sont autres que des constructions sociales et culturelles, que toute théorie scientifique est suspecte parce que nécessairement entachée de racisme, de sexisme, de capitalisme, de colonialisme, de militarisme, et de tout autre « isme » imaginable. Ce « relativisme culturel » nie toute possibilité de se rapprocher de la vérité, dans quelque domaine que ce soit. Ainsi, en ce qui concerne l'histoire des Etats-Unis, il n'y aurait pas une histoire des Noirs, mais une histoire noire en regard d'une histoire blanche ; il n'y aurait pas une histoire des femmes, mais une histoire féminine en regard d'une histoire masculine, etc. En l'absence de valeurs universelles, seules auraient droit de cité des opinions d'individus ou de groupes d'individus, et tous les points de vue seraient valides et légitimes même s'ils sont irréconciliables.

Exaspéré par ces thèses qui ont touché jusqu'à la science, le physicien américain Alan Sokal de l'université de New-York, l'un des rares scientifiques à suivre de près les débats postmodernistes sur la nature de la science (je dois avouer que la grande majorité d'entre nous sommes trop occupés à nos travaux pour prêter attention à ce genre de débat hautement académique), décida de faire un coup d'éclat afin d'exposer au grand jour la vacuité de ces propos. En 1996, il monta un canular sous la forme d'un article parodique écrit dans le style hermétique que les postmodernistes affectionnent, et truffé de non-sens scientifiques. Mais ceux-ci étaient noyés dans des tournures de phrases tellement alambiquées qu'elles paraissaient profondes et irréfutables à un lecteur non initié. Le titre de l'article lui-même était on ne peut plus fumeux : « Transgresser les frontières : vers une herméneutique transformative de la gravité quantique ». Sokal envoya son article à la revue d'études culturelles *Social Text*. Les rédacteurs en chef n'y virent que du feu et le publièrent.

La supercherie fut révélée par Sokal lui-même dans un second article paru dans une autre revue, *Lingua Franca*, dans lequel il expliqua que son objectif était de dénoncer le manque de rigueur intellectuelle de certains chercheurs en sciences humaines et de certains philosophes chantres du relativisme culturel. Avec l'intention d'en mettre plein la vue au lecteur et d'acquérir une position d'autorité grâce au prestige de la science, en d'autres termes pour se

donner des signes extérieurs de scientificité, ces chercheurs et penseurs abusent de concepts scientifiques, d'images et de métaphores empruntés aux sciences dites « dures », physique ou mathématiques, pour étayer leur discours. Malheureusement, dans la plupart des cas, ces concepts sont mal maîtrisés et assimilés, si bien que, importés dans d'autres domaines – comme les sciences humaines – et utilisés dans un contexte totalement différent, ils mènent souvent aux contresens scientifiques les plus grossiers, qui obscurcissent plutôt qu'ils n'illuminent leur discours. Ainsi, la relativité, la mécanique quantique, la théorie du chaos ou encore le théorème de Gödel sont souvent cités par les postmodernistes comme ayant des implications politiques, sociales et culturelles profondes. Dans son article, Sokal s'en était donné à cœur joie pour parodier ces idées, citant au passage Jacques Derrida sur la relativité, Jacques Lacan sur la topologie et la logique, ou Gilles Deleuze sur la théorie du chaos. Selon lui, son texte était « généreusement truffé de non-sens », mais les éditeurs de *Social Text* avaient publié cet article sur la physique quantique sans se donner la peine de demander l'avis de spécialistes parce qu'il « sonnait » bien et qu'il était « en accord avec leurs préjugés idéologiques ». L'article de *Social Text* commençait en effet par un résumé plutôt exact du credo postmoderniste : « Il existe nombre de scientifiques, en particulier les physiciens, qui continuent à rejeter la notion selon laquelle les disciplines de critique culturelle et sociale puissent contribuer en quoi que ce soit à leur recherche, excepté peut-être de façon très indirecte... Ils persistent au contraire à s'attacher au dogme imposé par l'époque des Lumières sur la pensée intellectuelle occidentale, qui peut être résumé ainsi : il existe un monde extérieur, dont les propriétés sont indépendantes de tout être humain, et en fait de l'humanité entière ; ces propriétés sont codées dans des lois physiques « éternelles » ; les humains peuvent acquérir une connaissance fiable, quoique imparfaite et provisoire, de ces lois en appliquant des procédures « objectives » et des règles épistémologiques prescrites par ce qui est appelé la « méthode scientifique »^{18}. »

La méthode scientifique

Sans être d'accord avec le relativisme culturel extrême des postmodernistes, j'admets que le scientifique ne peut observer la nature de manière totalement objective, et qu'il existe une interaction constante entre le monde extérieur et sa subjectivité, truffée de concepts, de modèles et de théories acquis tout au long de sa formation professionnelle. Même le plus objectif des chercheurs aura des « préjugés ». L'historien des sciences américain Thomas Kuhn leur a donné le nom de « paradigmes^{19} ». Ce terme décrit une vue consensuelle que partagent la majorité des chercheurs, dans un certain domaine scientifique et à un moment donné. Un accord général existe sur les phénomènes les plus importants à étudier et sur leur explication. Ces paradigmes sont le moteur même de la démarche scientifique. Sans opinion préconçue, dépourvu de tout paradigme, comment pourrais-je choisir, parmi la multitude d'informations que la nature m'envoie, celles qui sont les plus chargées de sens et les plus susceptibles de révéler des lois et des principes nouveaux ? Le tri de la réalité, le choix des phénomènes sur lesquels concentrer ses efforts constituent une étape fondamentale de la démarche scientifique. Les plus grands scientifiques sont ceux qui ont su le mieux exercer cet art, pour aller à l'essentiel en négligeant l'insignifiant.

Malgré ce manque d'objectivité inhérent à la méthode scientifique, je ne pense pas que celle-ci soit foncièrement défectueuse. La science est protégée par un garde-fou solide grâce auquel elle finit toujours par rentrer dans le « droit chemin », même si elle s'égare de temps à autre, se retrouve parfois dans des culs-de-sac et doit faire de nombreux détours. Ce garde-fou est l'interaction constante entre la théorie et l'observation. Il existe deux cas de figure : soit les nouvelles observations et expériences récentes corroborent la théorie du moment, et cette dernière en sort renforcée ; soit il y a désaccord, et la théorie actuelle doit être modifiée ou écartée au profit d'une autre qui prévoit, elle aussi, des phénomènes vérifiables expérimentalement. Le scientifique retourne alors à son télescope ou à son accélérateur de particules. La nouvelle théorie ne sera acceptée que si ses prévisions sont confirmées. Ce va-et-vient incessant entre l'observation et la théorie est à la base de la méthode scientifique.

Plus important encore, il faut que les observations et les mesures qui corroborent ou invalident une théorie soient reproductibles et confirmées indépendamment par d'autres chercheurs, utilisant

d'autres instruments et d'autres techniques. Cette démarche est essentielle, surtout quand il s'agit de découvertes qui remettent en cause des théories généralement acceptées, induisant un changement de paradigme. Les chercheurs sont conservateurs par nature. Ils n'aiment pas que d'un jour à l'autre des théories nouvelles viennent chambouler des connaissances acquises au prix de tant d'efforts. La nouveauté émerge difficilement. Toute tentative susceptible de semer le trouble et d'ébranler l'édifice déjà construit rencontre toujours une forte résistance. Heureusement, d'ailleurs, pour la bonne marche de la science, car il ne suffit pas de détruire, il faut aussi rebâtir. Or il est très ardu de reconstruire sur des ruines. Ce conservatisme est tel que, souvent, des faits qui se révèlent « anormaux » soient forcés de rentrer dans le cadre conceptuel en vigueur par des modifications arbitraires de la théorie existante, quand ils ne sont pas simplement ignorés ; un des exemples les plus frappants est celui de Ptolémée, ajoutant épicycle sur épicycle – des cercles dont les centres se déplacent eux-mêmes sur des cercles dont les centres se déplacent sur d'autres cercles, etc. – pour expliquer le mouvement des planètes autour d'une Terre immobile au centre du monde. Pourtant, cette résistance au changement n'est pas aussi néfaste qu'elle peut le paraître au premier abord : elle constitue une soupape de sécurité contre de constantes remises en question, de perpétuels bouleversements qui entraveraient la recherche scientifique. Assurant la bonne marche de la science en temps ordinaire, elle la protège contre un état de chaos permanent qui la paralyserait.

Un problème se pose toutefois : si je place tout fait nouveau, toute nouvelle découverte dans un cadre conceptuel déjà établi et répugne à le remettre en cause, comment puis-je me rapprocher de la vérité ? Il faut bien que la science progresse. Quand des résultats expérimentaux nouveaux s'accumulent, que des faits inattendus surgissent, qui ne cadrent plus avec l'ancien schéma, ou que des contradictions internes apparaissent au sein des théories existantes, survient alors un changement de paradigme, déclenchant une révolution scientifique.

Ainsi, en l'an 1666, Newton unifia le ciel et la Terre en démontrant que c'est la même gravitation universelle qui dicte le mouvement des planètes autour du Soleil et celui d'une pomme qui tombe dans le verger. Le paradigme newtonien remplaça alors le paradigme aristotélicien – Aristote pensait que le ciel et la Terre étaient régis par des lois différentes – qui avait dominé la pensée occidentale pendant les quelque vingt siècles précédents. Il régna en maître pendant tout le XVIII^e siècle. La théorie de la gravitation universelle de Newton fut mise à contribution pour calculer les orbites planétaires de plus en plus précisément, culminant en 1846 avec la découverte de la planète Neptune, faite non pas en cherchant dans le

ciel avec un télescope, mais par des calculs fondés sur la théorie du physicien anglais ! Pourtant, à la fin du XIX^e siècle, la physique était de nouveau en crise : dans le paradigme newtonien où le temps et l'espace étaient universels, nul ne pouvait comprendre pourquoi la vitesse de la lumière demeurerait obstinément constante, quel que soit le mouvement de l'observateur. On l'a vu, Einstein apporta la solution avec sa théorie de la relativité développée entre 1905 et 1915 : le temps et l'espace ne sont plus les mêmes pour tout le monde, mais varient en fonction du mouvement de l'observateur et de l'intensité du champ gravitationnel dans lequel il est situé. Plus d'un siècle plus tard, le paradigme einsteinien est toujours valable.

La mélodie secrète de l'univers

Ainsi, la science va de paradigme en paradigme. Ce faisant, nous rapproche-t-elle de la vérité ? Je pense que oui. En cela, je suis en désaccord avec Kuhn qui rejette la notion d'un but de la science (même s'il accepte celle de progrès). Pour moi, la science tend vers un but bien déterminé qui est la vérité. Elle y tend de manière asymptotique, c'est-à-dire qu'elle s'en approche toujours plus, sans jamais l'atteindre. Ainsi, la façon dont est décrit le réel dans la théorie de la relativité d'Einstein est plus proche de la vérité que celle de la théorie de Newton, mais peut-être moins complète qu'elle ne le serait dans une future théorie de gravité quantique qui unifierait la relativité avec la mécanique quantique. La théorie du big bang qui décrit la naissance et l'évolution de l'univers est certainement plus sophistiquée et plus proche de la réalité que l'univers géocentrique de Ptolémée ou que celui de Copernic dont le Soleil était le centre. Un paradigme qui en remplace un autre ne rend pas nécessairement l'ancien obsolète. Ainsi, je l'ai dit, le paradigme einsteinien a dû incorporer tous les acquis du paradigme newtonien quand les vitesses sont infimes comparées à celle de la lumière et quand l'intensité de la gravité n'est pas trop grande.

L'univers du big bang est le dernier en date d'une longue série inventée par l'homme, commençant avec l'univers magique, et passant par les univers mythique, mathématique et géocentrique. Il ne sera certainement pas l'ultime univers sorti de l'esprit humain : il serait bien étonnant que nous ayons le mot de la fin, que nous soyons les élus qui perceront le secret de la mélodie secrète du monde. Il y aura dans le futur une longue série d'univers qui se rapprocheront toujours plus du véritable Univers. Mais atteindrons-nous jamais le but final, parviendrons-nous jamais à la Vérité ultime, où l'Univers nous sera révélé dans toute sa splendeur ? Je ne le pense pas. La science en progressant découvre ses propres limites. L'acte même d'observer modifie la réalité, nous enseigne la mécanique quantique. Le théorème d'incomplétude du mathématicien autrichien Kurt Gödel implique qu'il existe, en mathématiques tout au moins, des limites au raisonnement rationnel. La réalité captée à l'aide de nos instruments de mesure est inévitablement interprétée et modifiée par notre cerveau, avec nos « préjugés » et paradigmes.

Si l'Univers nous est à jamais inaccessible, si sa mélodie reste à jamais secrète, est-ce une raison pour se décourager, pour abandonner

la quête ? Je ne le crois pas. L'homme ne pourra en aucun cas échapper à ce besoin urgent d'organiser le monde extérieur en un schéma cohérent et unifié. Après l'univers du big bang, il continuera à en créer d'autres, qui se rapprocheront toujours plus de l'Univers sans jamais l'atteindre, mais qui illumineront et magnifieront son existence.

La beauté d'une théorie

Nous l'avons vu, la nature nous éblouit de sa beauté visuelle ; il y a aussi de la splendeur dans l'ordre de l'univers et de la beauté en ce que des phénomènes a priori aussi disparates que les marées des océans, le mouvement des planètes et des étoiles ou l'expansion de l'univers soient connectés et unifiés par la même loi de gravité. Mais il existe une troisième sorte de beauté, encore plus abstraite, qui concerne les lois elles-mêmes, ou plutôt l'organisation de ces lois en une théorie.

Le scientifique parle souvent de la « beauté » d'une théorie physique. Qu'entend-il par là ? Il ne veut certainement pas exprimer le même sentiment que quand il parle d'une belle femme, d'une belle peinture ou d'un beau poème. La beauté des femmes obéit à des critères qui dépendent notoirement du contexte culturel, social, psychologique ou biologique. Alors que les femmes aux formes plantureuses de Rubens ou de Renoir constituaient l'idéal féminin de leur époque, elles ne correspondent plus aujourd'hui au modèle de la beauté féminine, qui favorise les silhouettes sveltes. De même les perceptions des œuvres d'art varient elles aussi avec le temps : Van Gogh est mort dans la misère alors qu'à l'heure actuelle ses toiles se vendent à des dizaines de millions de dollars. Les perceptions esthétiques diffèrent également de culture à culture : la beauté ineffable du Taj Mahal, en Inde, est tout à fait différente de la magnificence de la cathédrale de Chartres ; les conventions picturales d'une encre d'Hokusai représentant le mont Fuji ne sont pas celles de Cézanne quand il peint la montagne Sainte-Victoire. À la différence de la beauté des femmes et des œuvres d'art, la beauté d'une théorie physique n'est pas relative ; elle ne dépend ni des époques ni des cultures, mais est universelle. Un physicien chinois pourra vanter les mérites de la relativité générale aussi bien que son homologue français.

Voici ce qu'en dit Henri Poincaré : « Je parle de la beauté intime qui vient de l'ordre harmonieux des parties et qu'une intelligence pure est capable d'appréhender. » Et il décrit ainsi la beauté mathématique : « On peut s'étonner de voir convoquer la sensibilité à propos de démonstrations mathématiques, qui, semble-t-il, ne peuvent intéresser que l'intelligence. Ce serait oublier le sens de la beauté mathématique, de l'harmonie des nombres et des formes, de l'éloquence géométrique. C'est un véritable sens esthétique que tous

les vrais mathématiciens connaissent. Et c'est bien là de la sensibilité^[20]. » Le physicien allemand Werner Heisenberg abonde dans son sens : « Si la nature nous conduit à des formes mathématiques d'une grande simplicité et beauté – par le mot « formes », je veux dire des systèmes cohérents d'hypothèses, d'axiomes, etc. – et que personne n'a entrevues auparavant, nous ne pouvons nous empêcher de penser qu'elles sont vraies, qu'elles révèlent un aspect réel de la nature... Vous avez dû le sentir aussi : la simplicité presque effrayante et la totalité des interconnexions que la nature étale soudain devant nous et pour lesquelles nous n'étions pas du tout préparés^[21]. » Albert Einstein lui-même écrit à la fin de son premier article sur la relativité générale : « Toute personne qui comprendra cette théorie ne pourra échapper à sa magie. » « Ordre harmonieux », « simplicité »,

« cohérence », « magie » : autant de définitions que de grands pratiquants de la science donnent de la beauté.

Je vais essayer de cerner à mon tour ce que j'entends par une « belle théorie ». Sa première qualité, c'est qu'elle possède un air d'inévitabilité. Rien ne peut être changé sans détruire son harmonie et son équilibre. La théorie de la relativité générale d'Einstein est, de l'avis de tous les spécialistes, l'édifice intellectuel le plus beau jamais construit par un esprit humain. Et cela parce qu'elle est inévitable. Ayant adopté les principes physiques qui servent de base à sa théorie de la gravitation, Einstein n'avait plus le choix. Comme le physicien lui-même l'a écrit : « L'attrait principal de la théorie réside dans le fait qu'elle se suffit à elle-même. Qu'une seule de ses conclusions soit invalidée et il faut abandonner la théorie. La modifier sans détruire toute la structure est impossible. » C'est un sentiment comparable à celui que l'on éprouve à l'audition d'une fugue de Bach : pas une note n'aurait pu en être changée sans en rompre l'harmonie.

La deuxième qualité d'une belle théorie, c'est qu'elle se doit d'être simple. Il ne s'agit pas ici de la simplicité des équations dans la théorie (les mathématiques dans la relativité sont assez compliquées comparées à celles de la théorie de la gravité newtonienne), mais de celle des idées qui la sous-tendent. Cette simplicité est aussi souvent appelée « élégance ». Par exemple, l'univers héliocentrique de Nicolas Copernic où les planètes tournent autour du Soleil est beaucoup plus simple et élégant que l'univers géocentrique de Ptolémée où la Terre occupe la place centrale et où les planètes se déplacent sur des épicycles. Une belle théorie satisfait au postulat de simplicité exprimé par le « rasoir d'Occam » énoncé au XIV^e siècle par le théologien et philosophe Guillaume d'Occam, qui consiste à éliminer systématiquement toute hypothèse non nécessaire à l'explication d'un fait. Considérant que l'explication simple d'un phénomène a plus de

chances d'être vraie qu'une explication compliquée : « Tout ce qui n'est pas nécessaire est inutile. » Dans l'histoire des sciences, chaque fois qu'une théorie initialement simple a dû être complexifiée pour rendre compte de nouvelles données (comme la théorie géocentrique où Ptolémée devait ajouter de plus en plus d'épi-cycles pour expliquer les observations plus précises des mouvements des planètes), celle-ci s'est révélée erronée.

La dernière qualité d'une belle théorie est qu'elle fait coïncider beauté et vérité, qu'elle est conforme à la nature. D'après Heisenberg, « la Beauté est la conformité des parties les unes avec les autres et avec le Tout^{22} ». Ainsi, la théorie de la relativité est belle parce qu'elle a connecté et unifié des concepts fondamentaux de la physique jusque-là totalement distincts : le temps et l'espace, la masse et l'énergie, la matière et le mouvement. C'est ce désir esthétique de conformité qui a aiguillonné les efforts des physiciens, depuis deux siècles, pour trouver une théorie du Tout qui interconnecterait tous les phénomènes physiques de l'univers, qui unifierait les quatre forces fondamentales de la nature en une seule.

Une théorie est d'autant plus belle qu'elle révèle des connexions inattendues à chaque nouveau tournant, au fur et à mesure que les chercheurs explorent sa structure plus en détail, mais toujours en conformité avec la nature. La relativité satisfait au plus haut point à ce critère. Elle ne cesse de nous étonner par ses richesses imprévues. Einstein lui-même fut le premier surpris quand il découvrit que ses équations de relativité générale lui imposaient un univers en expansion, alors que les observations de son temps, en 1915, indiquaient un univers statique. Le physicien n'eut pas assez confiance en la beauté et en la véracité de ses équations. Il les modifia, ce qu'il qualifia de « plus grande erreur de [sa] vie », quand l'astronome américain Edwin Hubble découvrit l'expansion de l'univers en 1929. Depuis, la relativité générale continue de nous révéler des objets inouïs dans l'univers, dont l'existence a toujours été vérifiée par l'observation astronomique : pulsars, trous noirs et autres lentilles gravitationnelles.

Inévitable, simple et conforme au Tout : tels sont les traits d'une belle théorie. Parmi toutes les théories rivales qui s'offrent pour expliquer un ensemble de faits, je choisis invariablement celle qui est la plus belle car j'ai l'intime conviction que c'est elle qui est la plus proche de la vérité.

L'univers déterministe et réductionniste de Newton et de Laplace

Les belles théories, en nous rapprochant toujours plus de la vérité, changent irrémédiablement notre vision du monde. Nous avons assisté au XX^e siècle à un véritable bouleversement de notre façon de concevoir le monde. Après avoir dominé la pensée occidentale pendant quelque trois cents ans, la vision newtonienne d'un univers fragmenté, mécaniste et déterministe a laissé la place à celle d'un monde holistique, indéterministe et exubérant de créativité. Voici ce nouvel univers tel que je le conçois.

Pour Newton, l'univers n'était qu'une immense machine composée de particules matérielles inertes, obéissant servilement et aveuglément à des forces extérieures, et totalement dépourvu de créativité. L'univers était une mécanique bien huilée, une horloge réglée avec précision et qui, une fois remontée, fonctionnait d'elle-même selon des lois strictement déterministes. La liberté et la fantaisie en étaient bannies. À partir d'un petit nombre de lois physiques, l'histoire d'un système pouvait être entièrement expliquée et prédite pourvu qu'on la caractérise parfaitement à un instant donné. Le physicien français Pierre Simon de Laplace se fit le chantre de ce déterminisme triomphant dans sa fameuse déclaration : « Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée, et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome ; rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé seraient présents ses yeux^{23}. »

L'horloge cosmique était si bien huilée qu'elle marchait toute seule. Une intervention divine n'était plus nécessaire. D'où la fameuse réplique de Laplace à Napoléon selon laquelle il n'avait plus besoin de l'hypothèse de Dieu. De même que la foi était reléguée au second plan par la raison, le temps n'avait plus de place, le futur étant contenu dans le présent et le passé. Le Grand Livre était somme toute déjà écrit, et pour reprendre les mots du chimiste belge Ilya Prigogine : « Dieu était réduit au simple rôle d'un archiviste tournant les pages du livre cosmique. » L'univers était enfermé dans un carcan rigide qui lui ôtait toute créativité et lui interdisait toute innovation. Tout était irrémédiablement fixé à l'avance, aucune surprise n'était permise. Ce qui fit dire à Hegel : « Il n'y a jamais rien de nouveau dans la nature ! »

C'était un monde où le réductionnisme régnait en maître. Il suffisait de décomposer tout système complexe en ses éléments les plus simples et d'étudier le comportement de ses parties pour comprendre le tout. Car le tout n'était ni plus ni moins que la somme des composantes. Il existait une relation directe entre la cause et l'effet. L'ampleur de l'effet était invariablement proportionnelle à l'intensité de la cause et pouvait être déterminée à l'avance. Si bien que la nature pouvait être étudiée en termes de particules élémentaires, ses composantes les plus simples. Cette démarche tentait de réduire la richesse et la beauté du monde aux seules particules, champs de force et interactions. Cette vue mécaniciste, matérialiste et réductionniste du monde déborda dans d'autres domaines. En biologie, les êtres vivants devinrent des « machines génétiques », collections de particules soumises à des forces aveugles. Les phénomènes biologiques et mentaux ne furent plus que des processus physiques pouvant s'expliquer en termes de matière et d'énergie. Cette approche supposait que toute la complexité du monde – le parfum des roses, le sourire d'un enfant, l'amour entre un homme et une femme – se réduisait aux lois de la physique.

L'intrusion du temps et de l'histoire

Ce déterminisme contraignant et stérilisant, ce réductionnisme rigide et déshumanisant prévalurent jusqu'à la fin du XIX^e siècle. Ils furent bousculés, transformés et, en fin de compte, balayés par une vision du monde beaucoup plus exaltante et libératrice au cours du XX^e siècle. La dimension historique entra en force dans nombre de disciplines scientifiques. La contingence occupa une part entière dans des domaines aussi variés que la cosmologie, l'astrophysique, la géologie, la biologie et la génétique. Le réel n'était plus seulement déterminé par des lois naturelles appliquées à des conditions initiales particulières ; il était aussi modelé et façonné par une suite d'événements contingents et historiques. Certains de ces épisodes, modifiant et bouleversant la réalité à son niveau le plus profond, étaient à l'origine même de notre existence. Ainsi celui de l'astéroïde venu percuter la Terre il y a environ soixante-cinq millions d'années : en provoquant la disparition des dinosaures et en favorisant par là même la prolifération de nos ancêtres les mammifères, ce choc contingent fut responsable de notre émergence.

Dans cette nouvelle vision du monde, le réel est construit, à tous les niveaux, par l'action conjuguée du déterminé et de l'indéterminé, du hasard et de la contingence. Le fortuit et le nécessaire sont tous deux des outils indispensables dans la panoplie de la nature. Les lois et constantes physiques fixées dès les premiers instants de l'univers aiguillent celui-ci vers une complexité toujours croissante. Depuis 13,7 milliards d'années, à partir d'un vide rempli d'énergie, la nature a engendré successivement particules élémentaires, atomes, molécules, chaînes d'ADN, bactéries et tous les êtres vivants, dont l'homme. Sur cet immense canevas déterminé par les lois physiques, la nature a su utiliser le fortuit pour inventer et créer la complexité. L'aléatoire lui donne la liberté nécessaire pour innover, pour élargir le champ des possibles défini par le cadre souvent trop restreint des lois physiques, et satisfaire son besoin d'innover et de créer. Tout est mis à contribution : hasard et nécessité, événements aléatoires et lois déterministes. C'est pourquoi le réel ne pourra être décrit complètement par les seules lois de la physique. La contingence et l'histoire limiteront à tout jamais une explication complète de la réalité. Pour expliquer l'apparition de l'homme, nous pouvons invoquer le fameux astéroïde tombé sur la Terre il y a soixante-cinq millions d'années, mais nous ne disposerons jamais d'informations

suffisantes pour expliquer pourquoi cet astéroïde est venu percuter notre planète juste à ce moment-là. Le rêve de Laplace d'un déterminisme absolu vole en éclats.

Le chaos donne de la liberté à la nature

L'intrusion de l'histoire ne fut pas seule responsable de la libération de la nature. Les lois physiques perdirent elles-mêmes de leur rigidité. Avec le développement de la théorie du chaos, l'imprévisibilité et l'indéterminisme firent une entrée fracassante dans le monde macroscopique.

Au credo déterministe de Laplace, le mathématicien Henri Poincaré, l'un des pionniers de la théorie du chaos, répondit de la façon suivante : « Une cause très petite, qui nous échappe, détermine un effet considérable que nous ne pouvons pas ne pas voir ; nous disons alors que cet effet est dû au hasard. Si nous connaissions exactement les lois de la Nature et la situation de l'univers à l'instant initial, nous pourrions prédire exactement la situation de ce même univers à un instant ultérieur. Mais, lors même que les lois naturelles n'auraient plus de secret pour nous, nous ne pourrions connaître la situation initiale qu'approximativement. Si cela nous permet de prévoir la situation ultérieure avec la même approximation, c'est tout ce qu'il nous faut. Nous disons que le phénomène a été prévu, qu'il est régi par des lois. Mais il n'en est pas toujours ainsi, il peut arriver que de petites différences dans les conditions initiales en engendrent de très grandes dans les phénomènes finaux ; une petite erreur sur les premières produirait une erreur énorme sur les derniers. La prédiction devient impossible^{24}. »

Il faut bien comprendre que la signification scientifique du terme « chaos » n'a rien à voir avec le sens de désordre ou de confusion générale que lui donne son usage courant. Le chaos se rattache plutôt à une notion d'imprévisibilité à long terme. Par exemple, prévoir le temps qu'il fera dans plus d'une semaine est impossible, car les modèles météorologiques dépendent de manière très sensible des conditions initiales. Cette limite de la connaissance est incontournable. Les germes de l'ignorance sont enfouis dans le fonctionnement même de la nature. On aurait beau, pour comprendre ses humeurs, couvrir la Terre de stations météorologiques contiguës, il existerait toujours des fluctuations atmosphériques trop infimes pour être détectées. En s'amplifiant, ces fluctuations peuvent donner naissance à des tempêtes dévastatrices ou à un beau ciel bleu. C'est pourquoi la théorie du chaos est souvent illustrée par ce que les physiciens appellent l'« effet papillon », selon lequel le battement d'ailes d'un papillon à la Réunion peut causer un orage à Paris.

Outre la météorologie, il existe maints autres domaines, dans la nature et dans la vie courante, où le chaos se manifeste, tous caractérisés par une dépendance extrêmement sensible à l'égard des conditions initiales. Le chaos a ainsi débordé le domaine des sciences naturelles pour envahir des disciplines ou spécialités aussi nombreuses et variées que l'anthropologie, la biologie, l'écologie, la géologie, l'économie, l'histoire, l'architecture islamique, la calligraphie japonaise, la linguistique, la musique, les télécommunications, la planification urbaine et la zoologie, pour n'en citer que quelques-unes. Avec la science du chaos, les objets de la vie de tous les jours deviennent des objets d'étude légitimes : les volutes sinueuses d'une cigarette, un drapeau qui claque au vent, les bouchons interminables sur une autoroute, les gouttes d'eau qui tombent d'un robinet mal fermé, les irrégularités cardiaques ou encore les fluctuations de la Bourse sont des phénomènes qui peuvent être décrits par la théorie du chaos.

Le chaos se manifeste à chaque instant dans la vie quotidienne. Nous avons tous vécu des situations dans lesquelles des faits d'apparence anodine se sont révélés lourds de conséquences. Parce que son réveil n'a pas sonné, un homme manque son rendez-vous et l'emploi qu'il convoitait. Parce qu'une poussière dans l'essence fait tomber sa voiture en panne, une femme rate son avion et échappe à la mort lorsque cet avion s'écrase dans l'océan quelques heures plus tard. Parce que le général de Gaulle a fait un discours à Phnom Penh, je me suis retrouvé en Californie à utiliser le plus grand télescope du monde et suis devenu astronome ! les événements apparemment les plus insignifiants et des circonstances imperceptiblement différentes peuvent donc changer le cours d'une vie.

La théorie du chaos est ainsi une science du global qui abat les cloisons entre les diverses disciplines. Science holistique, elle considère le tout et fait battre en retraite le réductionnisme. Le monde ne peut plus être expliqué seulement par ses éléments constitutifs (quarks, chromosomes ou neurones), mais doit être appréhendé dans sa globalité. En faisant s'écrouler le bastion du déterminisme, cette théorie rend à la nature sa liberté et lui permet d'exercer sa créativité pour générer la beauté du monde^{25}.

Le flou quantique

Avec l'avènement de la mécanique quantique au début du XX^e siècle, un vent de liberté souffla aussi sur le monde des atomes. Et à l'ennuyeuse certitude déterministe se substitua la stimulante incertitude du flou quantique.

Le physicien Werner Heisenberg découvrit que la nature suit un « principe d'incertitude » à l'échelle atomique et subatomique : l'information que nous pourrions recueillir d'une particule élémentaire ne pourra jamais être complète. Soit nous mesurons la position d'un électron avec une grande précision, auquel cas nous renonçons à connaître précisément sa vitesse, soit nous observons sa vitesse et acceptons que sa position reste imprécise, mais nous ne pouvons connaître avec exactitude à la fois sa vitesse et sa position. Cette indétermination ne vient pas du fait que nous manquions d'imagination dans nos calculs, ou de ce que nos appareils de mesure ne soient pas assez sophistiqués, c'est une propriété fondamentale de la nature. Parce que l'information que nous pourrions recueillir d'une particule sera toujours incomplète, son avenir exact, qui dépend de cette information, nous sera à tout jamais inaccessible. Encore une fois, la vision de Laplace d'un univers à la mécanique parfaitement huilée, où le passé, le présent et le futur de chaque atome peuvent être appréhendés par l'intelligence humaine, se brise. Il y aura toujours une part de flou et de hasard dans le destin des atomes. À l'échelle atomique, la nature nous demande d'être tolérants et de renoncer au vieux rêve humain du savoir absolu.

Parce qu'une particule ne pourra jamais nous livrer simultanément le secret de sa position et celui de son mouvement, nous ne pourrions jamais parler d'une trajectoire d'une particule comme nous parlons de l'orbite de la Lune autour de la Terre. Dans un atome, un électron ne se contente pas de suivre sagement une seule orbite, mais peut être partout à la fois. Par quel prodige ? En revêtant son autre visage, car l'électron, le photon, ou toute autre particule, possèdent une double personnalité : ils sont à la fois particule et onde. La particule, quand elle est onde, peut se propager et occuper tout entier l'espace vide de l'atome, comme des ondes circulaires causées par une pierre qu'on lance se propagent et occupent toute la surface d'un étang. L'onde de la particule, telles les vagues de l'océan, possède une très grande amplitude aux crêtes et une amplitude bien moindre aux creux. Elle peut être considérée comme une onde de probabilité : j'ai beaucoup

plus de chances de rencontrer l'électron aux crêtes qu'aux creux, mais, même aux crêtes, je ne serai jamais certain qu'il sera au rendez-vous. Peut-être deux fois sur trois (une probabilité de 66%) ou quatre fois sur cinq (une probabilité de 80%) l'électron sera-t-il là. Mais la probabilité n'atteindra jamais 100%. La certitude est expulsée du monde atomique et subatomique et le hasard entre en force. Les prédictions de la mécanique quantique, qui accorde un rôle majeur au hasard, ont été invariablement confirmées par les expériences en laboratoire. C'est le fait qu'elle soit efficiente qui permet à votre ordinateur portable ou à votre équipement stéréo de fonctionner.

L'alliance retrouvée entre l'homme et l'univers

L'irruption de la contingence et de l'histoire dans la fabrication du réel a libéré la nature de ses contraintes. Le réel n'est plus seulement déterminé par des lois naturelles appliquées à des conditions initiales particulières, il est aussi modelé et façonné par une suite d'événements contingents et historiques imprévisibles. La mécanique quantique a affranchi la matière de ses chaînes au niveau atomique et subatomique : elle y a remplacé la machine déterministe de Newton par un monde merveilleux d'ondes et de particules gouverné non plus par les lois rigides et contraignantes de la causalité, mais par celles, libératrices, du hasard. Au niveau macroscopique, c'est du chaos qu'est venu le souffle libérateur. Le flou quantique et le chaos libèrent la matière de son inertie. Ils permettent à la nature de donner libre cours à sa créativité. Son destin est « ouvert », son futur n'est plus déterminé exclusivement par son présent et son passé. La mélodie n'est plus composée une fois pour toutes. Elle s'élabore au fur et à mesure. Au lieu de suivre une partition de musique classique où chaque note a sa place et ne peut être changée ou supprimée sans que soit détruit l'équilibre délicat du morceau, la nature joue plutôt du jazz. Comme le jazzman improvise autour d'un thème général pour produire des sons nouveaux au gré de son inspiration et de la réaction de l'auditoire, la nature se montre spontanée et ludique en jouant avec les lois naturelles pour créer de la nouveauté. Parce que le futur n'est plus contenu dans le présent ni le passé, le temps recouvre sa place à part entière. Le Grand Livre cosmique n'est pas déjà composé, il reste à écrire.

Dans cette nouvelle vision du monde, la matière a perdu son rôle central. Ce sont les principes l'organisant et lui permettant d'accéder à la complexité qui occupent le devant de la scène. Par exemple, dans les systèmes où le tout est plus grand que la somme des composantes, ce sont les principes dits « émergents » qui tiennent le premier rôle. Le vocabulaire lui-même a changé. Au lieu d'images comme « machine » ou « horloge » reviennent plutôt des mots tels que « adaptation », « information » ou « organisation ». De même, alors que, longtemps après la révolution industrielle, la matière (le fer, le charbon, etc.) constituait la richesse principale des nations, je pense que désormais celle-ci viendra non plus tant de l'exploitation de la matière que de la maîtrise des techniques de transfert de l'information (Internet en est l'exemple le plus frappant) et des stratégies d'organisation. Le monde

matériel des particules inertes a ainsi cédé la place à un monde vibrant de jaillissements issus de l'esprit, restaurant l'ancienne alliance entre l'homme et la nature.

On me demande souvent si, en essayant de trop comprendre et de tout rationaliser, nous ne risquons pas de tuer la beauté et la poésie. Les progrès de la science ne risquent-ils pas d'éliminer tout mystère ? C'était en tout cas l'avis du poète John Keats, l'un des grands romantiques anglais, qui écrivait en 1820, dans son poème *Laméa*, à propos de l'arc-en-ciel :

*« Tous les charmes ne s'envolent-ils pas
Au simple contact de la froide philosophie ?
Il y eut un majestueux arc-en-ciel dans le ciel :
En connaissant sa nature et sa texture
Nous le réduisons à une chose ordinaire.
La philosophie coupe les ailes des anges ;
En conquérant tous les mystères,
Elle vide l'air des fantômes et les mines des gnomes,
Et détruit l'arc-en-ciel {26} »*

Quand Keats parle avec dérision de la « froide philosophie », il s'agit bien sûr de la « philosophie naturelle » que nous désignons aujourd'hui sous le nom de « science ». Il n'était du reste pas le seul à penser que trop de science pouvait être néfaste à la poésie. Goethe aussi était d'avis que l'analyse des couleurs de l'arc-en-ciel par Newton « atrophiait le cœur de la nature ». Le poète américain Walt Whitman semblait également penser que les formules, les calculs et autres graphiques allaient à l'encontre de l'appréciation poétique de la nature.

*« J'ai entendu le savant astronome,
J'ai vu les formules, les calculs, en colonnes devant moi,
J'ai vu les graphiques et les schémas,
Pour additionner, diviser, tout mesurer ;
J'ai entendu, de mon siège, le savant astronome
Donner sa conférence sous les applaudissements,
Et soudain j'ai ressenti un étrange vertige, une lassitude infinie ;
Alors je me suis éclipsé sans bruit ; je suis sorti Seul dans la nuit
fraîche et mystérieuse, Et de temps à autre,
Dans un silence total, j'ai levé les yeux vers les étoiles {27}. »*

Même si je comprends que les mathématiques – le langage de la nature – puissent paraître on ne peut plus rébarbatives à ceux qui n'y sont pas initiés, j'affirme que le savoir ne tue ni la poésie ni le mystère, et encore moins la beauté. Connaître la nature scientifique

de l'arc-en-ciel ou de tout autre phénomène naturel ne saurait en aucun cas diminuer le prix qu'on attache à leur splendeur. Au contraire. Parce que la compréhension de l'interdépendance de différents événements et des relations de cause à effet entre diverses composantes d'un tout donne de la cohérence et de la logique à ce qui, au premier abord, ne semble être qu'une série de faits ou de choses totalement déconnectés les uns des autres, le sentiment de révérence et d'admiration devant l'organisation de la nature ne s'en trouve que renforcé. La science nous permet de nous connecter au monde tout autant que l'art, la poésie et la spiritualité. Voici comment le Prix Nobel de physique 1984 Carlo Rubbia l'exprime : « Lorsque nous contemplons un phénomène physique particulier, tel un ciel nocturne rempli d'étoiles, nous sommes profondément émus et nous avons l'impression de recevoir un message de la nature qui nous transcende. Ce même sentiment d'émerveillement est ressenti au centuple par les scientifiques, car ils ont l'expertise nécessaire pour contempler le phénomène de l'intérieur. La beauté de la nature, vue de l'intérieur et en ses termes les plus essentiels, est encore plus parfaite que vue de l'extérieur^{28}. »

La science n'arrivera jamais à dissiper tous les mystères. Elle est caractérisée par une sorte de régression infinie. Derrière chaque réponse se cachent de multiples questions. La quête scientifique n'a pas de fin et, à mesure que le chercheur s'approche du but, celui-ci recule d'autant. Écoutons le physicien Richard Feynman s'enthousiasmer pour l'insondable mystère de l'univers : « À chaque fois que nous examinons un problème en profondeur, le même frisson, le même émerveillement et le même mystère ne cessent de revenir. Plus nous en savons, et plus le mystère s'épaissit, nous incitant à pénétrer encore plus en profondeur. Avec plaisir et confiance, et sans crainte d'une réponse peut-être décevante, nous retournons chaque nouvelle pierre pour découvrir une étrangeté inimaginable qui nous conduit à d'autres questions et d'autres mystères encore plus merveilleux – certainement une grande aventure^{29} ! »

C'est bien parce que je m'émerveille devant la beauté du monde et que je ressens son ineffable mystère que je fais de la science.

III.

Ce que je crois : le quantum et
le lotus

La science n'a rien à dire sur la manière de conduire notre vie

Ce n'est plus à démontrer, la science et ses applications technologiques nous ont procuré d'immenses bienfaits, mais elles ont aussi été à l'origine de ravages pour le moins aussi importants. Malgré toutes les connaissances qu'elle nous apporte – aucune description valable du monde naturel aujourd'hui ne peut ignorer les acquis des théories de la relativité, de la mécanique quantique et de l'évolution des espèces –, la science n'a rien à dire sur la façon de mener notre existence et de vivre en société. Elle ne suffit pas pour nous rendre heureux. Il n'y a qu'à observer la population des pays les plus avancés scientifiquement et technologiquement : si le confort matériel y est grand, il n'empêche le mal-être émotionnel et psychologique. Celui-ci est peut-être même plus intense dans les pays les plus développés. La science moderne a énormément contribué à alléger notre quotidien, mais elle ne peut pas nous offrir le bien-être moral. C'est seulement en nous transformant intérieurement que nous pouvons espérer atteindre la sérénité et le bonheur. Seule, la science est inapte à développer en nous les qualités humaines indispensables à ce bonheur, car par elle-même elle est incapable d'engendrer la sagesse.

J'en veux pour preuve la grande disparité qui existe parfois entre le génie scientifique et les valeurs humaines d'une personne, une disparité qui me troublait beaucoup quand je me suis retrouvé à Caltech à l'âge de dix-neuf ans. Naïvement, je pensais que les compétences et la créativité des plus grandes sommités scientifiques que j'y côtoyais faisaient d'eux des êtres supérieurs à tout point de vue, en particulier sur le plan des relations humaines. J'ai été amèrement déçu. On peut être un très grand scientifique, un génie dans son domaine, tout en restant le plus médiocre des individus dans la vie courante. Les scientifiques ne sont ni meilleurs ni pires que la moyenne des hommes.

L'histoire des sciences abonde en exemples de grands esprits dont le comportement s'est révélé considérablement moins glorieux sur le plan humain. C'est le cas, par exemple, de Newton qui est sans doute, avec Einstein, le plus grand physicien qui ait jamais vécu. Alors que l'intellect de Newton était aussi vaste que l'univers, que son esprit embrassait la totalité du cosmos, sa personnalité était l'une des plus étriquées et mesquines qui soient. Il a accusé à tort le savant allemand Gottfried Leibniz de lui avoir volé l'invention du calcul infinitésimal alors que celui-ci l'avait conçu de manière indépendante. Régnant en

despote sur la Société royale de Londres, l'Académie des sciences anglaise, il a traité de façon éhontée ses rivaux, le physicien Robert Hooke et l'astronome royal John Flamsteed. Alors qu'il a claironné l'harmonie et l'interdépendance de l'univers, il n'est jamais venu à l'esprit de Newton que celles-ci pouvaient s'appliquer aux affaires humaines. Plus grave : les physiciens allemands Philipp Lenard et Johannes Stark, tous deux Prix Nobel de physique, ont soutenu avec passion le nazisme et sa politique antisémite, proclamant la supériorité de la « science allemande » sur la « science juive ».

De temps à autre, trop rarement hélas, une personne allie le génie scientifique à un sens aigu de la morale et de l'éthique. C'est le cas d'Einstein. Face à la montée du nazisme en Allemagne, il est devenu un ardent sioniste tout en soulevant le problème des droits du peuple arabe dans la conception de l'État juif. Alors qu'il avait émigré aux Etats-Unis, ce fut sa lettre au président Roosevelt qui, en dépit de convictions profondément pacifistes, a été à l'origine du projet « Manhattan » consacré à la fabrication de la première bombe atomique, car il fallait prendre Hitler de vitesse. Mais, après la dévastation d'Hiroshima et de Nagasaki, Einstein a milité avec vigueur pour l'interdiction des armements nucléaires. Il s'est élevé contre le maccarthysme et a utilisé son immense prestige pour attaquer toute forme de fanatisme et de racisme. Pourtant, il existe aussi des zones d'ombre dans sa vie personnelle : père de famille indifférent et mari parfois volage, il a divorcé de sa première femme avec laquelle il avait eu une fille handicapée qu'il a délaissée. Il a admis lui-même : « Pour un homme dans mon genre, il se produit un tournant décisif dans son évolution lorsqu'il cesse graduellement de s'intéresser exclusivement à ce qui n'est que personnel et momentanément pour consacrer tous ses efforts à l'appréhension intellectuelle des choses. »

Mon intention n'est pas de condamner ici tel scientifique ou de chanter les louanges de tel autre. Je veux seulement insister sur le fait que si la science est un puissant vecteur de savoir, elle ne débouche pas nécessairement sur un changement intérieur. La porter aux nues ou la vouer aux gémonies n'a pas plus de sens que de faire l'éloge ou la critique de la force d'un bras qui peut aussi bien tuer que sauver une vie. En soi, la science n'est ni bonne ni mauvaise. Ce sont ses applications techniques qui sont susceptibles, selon les cas, d'améliorer ou de desservir notre bien-être extérieur : la découverte par Einstein que la matière peut être convertie en énergie nous révèle pourquoi le Soleil brille et nous dispense sa chaleur et sa lumière pour éveiller et entretenir la vie sur Terre, mais c'est la même découverte qui est à l'origine des bombes atomiques larguées sur Hiroshima et Nagasaki.

La science a montré qu'elle pouvait agir sur le monde. Aujourd'hui, il n'existe plus de sphère de la vie humaine qu'elle n'affecte pas. Si nous sommes tous d'accord sur son rôle primordial, nous sommes pourtant beaucoup moins sûrs des critères à adopter pour guider ses applications. La science en soi est en effet incapable de nous conférer les qualités humaines nécessaires pour guider notre utilisation du monde. Ces qualités ne peuvent venir que d'une « science de l'esprit », ou spiritualité. Celle-ci est à même de nous éclairer dans nos choix moraux et éthiques afin que nos connaissances servent le bien de tous. Loin d'être secondaire par rapport à la science, voire superflue, la spiritualité, doit avoir partie liée avec elle.

Science et bouddhisme : à la croisée des chemins

Le bouddhisme est la tradition spirituelle qui a nourri mon enfance. Je me souviens d'une vie religieuse très intense au Vietnam. Le bouddhisme était la religion dominante, coexistant avec le confucianisme, le taoïsme et le culte des ancêtres, introduits par la Chine pendant ses périodes d'occupation. La religion catholique, importée par des missionnaires français dès le XVII^e siècle, était aussi présente, quoique minoritaire. J'ai en mémoire les dimanches à la pagode avec ma mère, les grandes fêtes bouddhistes tels les jours de l'anniversaire de Bouddha, ou encore le Têt, le Nouvel An vietnamien (en février ou mars, selon le calendrier lunaire). Le Têt était une grande occasion d'aller demander au Bouddha santé, bonheur et prospérité pour la nouvelle année. À la maison, il y avait une chambre réservée à son culte. Ma mère y récitait des soutras chaque soir, et j'aimais la rejoindre dans la récitation de ces textes, même si je ne les comprenais pas entièrement. C'était là pour moi une sorte d'exercice *zen*, me permettant d'évacuer les pensées vagabondes de mon esprit. J'ai découvert ainsi le visage rituel du bouddhisme grâce à ma mère. Sa philosophie, je l'ai acquise plus tard, à l'âge adulte, par mes lectures et surtout par ma rencontre avec le moine bouddhiste Matthieu Ricard.

Nos chemins se sont croisés pour la première fois lors d'une université d'été en Andorre, en 1997, où nous avons été conviés tous deux pour donner des conférences sur le thème « Science et société ». C'était un vrai coup du destin, car Matthieu était la personne idéale pour discuter des questions que je me posais depuis très longtemps sur la vision bouddhiste du réel et sur les rapports qu'elle pouvait avoir avec la vision scientifique. En tant qu'astrophysicien étudiant la formation et l'évolution des galaxies, mon travail m'amène constamment à m'interroger sur les notions de matière, de temps et d'espace. En tant que Vietnamien élevé dans la tradition bouddhiste, je ne pouvais m'empêcher de me demander comment Bouddha envisageait ces mêmes concepts lorsqu'il atteignit l'Eveil, il y a deux mille cinq cents ans. Mais je n'étais pas certain qu'une démarche consistant à confronter la science et le bouddhisme puisse avoir un sens.

Je connaissais surtout l'aspect « pratique » du bouddhisme qui aide à acquérir la connaissance de soi, à progresser spirituellement, et à devenir un être meilleur. Pour moi, le bouddhisme était

principalement une voie contemplative menant à l'Eveil, au regard avant tout tourné vers l'intériorité, alors que le regard de la science se porte surtout vers le monde extérieur. De plus, le bouddhisme et la science utilisent des méthodes d'investigation du réel totalement différentes. La science a pour outils l'intellect et la raison. Divisant, catégorisant, analysant, comparant et mesurant, le scientifique exprime les lois de la nature dans le langage hautement élaboré des mathématiques. L'intuition n'est pas absente en science, mais elle n'est utile que si elle peut, être formulée dans une structure mathématique cohérente. Par contre, l'intuition – l'expérience intérieure – joue le premier rôle dans la démarche contemplative. Le bouddhisme n'essaie pas de fragmenter la réalité comme en science (ce que l'on appelle la méthode « réductionniste »), mais tente de l'appréhender de façon holistique, dans sa totalité. Le bouddhisme ne fait pas appel à des instruments de mesure sophistiqués – tels les télescopes, les accélérateurs de particules et autres microscopes – qui fournissent la base expérimentale de la science. Ses énoncés sont de nature plus qualitative que quantitative, loin du langage sophistiqué et précis des mathématiques. Je craignais que le bouddhisme n'ait que peu à dire sur la nature du monde phénoménal, car ce n'est pas sa préoccupation première, alors que c'est fondamentalement celle de la science. Pour lui, l'acquisition de connaissances se fait avant tout dans un but « thérapeutique » : alléger la souffrance des hommes.

Ces considérations occupaient mon esprit, mais pris par la recherche et l'enseignement, je n'avais ni le temps ni l'expertise pour les approfondir. Afin de répondre à certaines questions que je me posais, une connaissance des grands textes bouddhistes, ceux des maîtres indiens Nagarjuna, Shantideva ou Dharmakirti rédigés du II^e au VII^e siècle de notre ère, était nécessaire. Écrits en sanskrit et non traduits, ils m'étaient inaccessibles. Ma rencontre avec Matthieu fut providentielle à plusieurs égards. Tout d'abord, comme il a une formation scientifique – il a un doctorat en biologie moléculaire de l'Institut Pasteur, sous la direction du Prix Nobel de médecine François Jacob –, je n'avais pas à lui expliquer la méthode scientifique. D'autre part, maîtrisant le sanskrit, il a une connaissance intime de la philosophie et des textes bouddhistes, ayant quitté après son doctorat son milieu intellectuel bourgeois parisien (il est le fils de l'académicien et philosophe Jean-François Revel) pour devenir moine bouddhiste au Népal, où il vit depuis plus d'une trentaine d'années. Nous avons eu de passionnantes discussions au cours de longues randonnées dans le décor grandiose des montagnes pyrénéennes. Notre dialogue a été mutuellement enrichissant. Il a apporté des

réponses à certaines de mes interrogations, mais a aussi suscité de nouvelles questions, des points de vue inédits, des synthèses inattendues qui demandaient et demandent encore approfondissement et clarification. Ces discussions nous ont parfois réunis, parfois opposés. Un livre^{30} a résulté de ces échanges amicaux entre un astrophysicien né bouddhiste aspirant à confronter ses connaissances scientifiques avec le contenu philosophique de sa tradition spirituelle, et un scientifique occidental devenu moine bouddhiste et dont l'expérience personnelle l'a conduit à comparer deux approches de la réalité.

« Examinez la validité de mes enseignements... »

Mon but, en voulant confronter les approches scientifique et bouddhiste du réel, n'est pas d'imprimer à la science des allures de mysticisme, ni de justifier les enseignements du bouddhisme par les découvertes scientifiques. La science fonctionne parfaitement bien et atteint le but qu'elle s'est fixé – la connaissance des phénomènes et la découverte des lois physiques qui règlent leur comportement – sans aucun besoin d'un support philosophique ou spirituel. Le bouddhisme est la science de l'Éveil – l'accès à la connaissance suprême –, et que ce soit la Terre qui tourne autour du Soleil ou le contraire, ou que l'univers ait débuté dans un big bang ou qu'il existe de tout temps ne change rien à l'affaire. Parce que la science et le bouddhisme représentent l'un comme l'autre une quête de la vérité, dont les critères sont l'authenticité, la rigueur et la logique, leurs manières d'envisager le réel ne devraient pas déboucher sur une opposition irréductible, mais au contraire sur une harmonieuse complémentarité. Pour moi, explorer leurs convergences et divergences était avant tout une recherche de cohérence intellectuelle : si deux systèmes de pensée valides prétendent décrire le même réel, ils doivent nécessairement se rencontrer quelque part ; s'il n'existe aucun point de convergence, un des systèmes de pensée ou tous deux sont erronés. Comme le physicien allemand Werner Heisenberg l'a écrit : « Je considère que l'ambition de dépasser les contraires, incluant une synthèse qui embrasse la compréhension rationnelle et l'expérience mystique de l'unité, est le *mythos*, la quête, exprimée ou inexprimée, de notre époque^[31]. »

Au terme de mon dialogue avec Matthieu Ricard, je dois dire mon admiration accrue pour la manière dont le bouddhisme analyse le monde des phénomènes, de façon profonde, originale, et non dogmatique. En dépit de méthodes d'investigation du réel très différentes, le bouddhisme, comme la science, repose sur une base empirique. En science, nous devons rejeter ou modifier tout concept ou théorie qui n'est pas en accord avec les données expérimentales. De même, le bouddhisme doit accepter tout fait, qu'il ait été découvert par la science ou par l'intuition contemplative, même si celui-ci n'est pas en accord avec ses enseignements. Le dalaï-lama a déclaré que si la science devait démontrer que le bouddhisme s'est trompé sur certains aspects, il accepterait son verdict.

Le bouddhisme est fondé avant tout sur l'expérience directe. Il

n'est pas figé dans des dogmes dont il ne saurait s'écarter sous peine de remettre en cause ses fondements mêmes. Il est prêt à accepter toute vision de la réalité qui satisfasse aux critères de la vérité authentique. Le Bouddha lui-même mettait ses disciples en garde contre le danger d'une foi aveugle et dogmatique : « Examinez, disait-il, la validité de mes enseignements comme vous examineriez la pureté d'une pépite d'or, en la frottant contre une pierre, en la martelant ou en la faisant fondre. N'acceptez pas ce que je dis par simple respect pour moi. » Il ne s'agit donc pas de *croire*, mais de *savoir*. Bouddha n'est pas Dieu, mais un être humain qui a atteint l'Eveil. Il se présente plutôt comme un guide. Il nous indique la Voie et c'est à chacun de nous de parcourir ce chemin afin d'atteindre l'Eveil et l'état de bouddhété. Il ne peut le faire pour nous. Son enseignement n'est donc pas dogmatique, mais se présente davantage comme un carnet de route.

Comme la science, donc, le bouddhisme repose sur une base empirique. Ce qui peut paraître étonnant au premier abord l'est moins quand on est conscient que la notion de « base empirique » n'a pas tout à fait la même signification dans les deux domaines. Le bouddhisme en a une conception beaucoup plus large. Quand il parle d'évidence empirique », il ne veut pas seulement évoquer les observations perçues par nos sens et nos instruments de mesure, comme en science, mais il inclut aussi celles acquises par la méditation et la contemplation. En d'autres termes, le domaine d'investigation du bouddhisme ne se limite pas au monde objectif, il englobe aussi le monde subjectif du vécu et de l'expérience intérieure. Pour les sciences naturelles, seul le savoir objectif à la troisième personne a du sens. Elles excluent d'emblée tout phénomène vécu de manière subjective ainsi que tout phénomène immatériel, tandis que pour le bouddhisme, l'expérience subjective et immatérielle est essentielle. Alors qu'une science naturelle s'appuie sur des mesures de phénomènes physiques dans le monde extérieur et sur des équations mathématiques, pour la science de l'esprit qu'est le bouddhisme, une hypothèse peut être vérifiée ou éliminée par l'expérience intérieure. Ainsi, nous pouvons vérifier à travers cette dernière que la malveillance, la jalousie, le désir et l'envie ne procurent aucun contentement durable, mais engendrent au contraire la souffrance. A contrario, nous pouvons constater les effets bénéfiques de certains sentiments comme la générosité, la patience ou l'amour.

La méthode bouddhiste commence par l'analyse et fait souvent appel à des « expériences de pensée » qui sont irréfutables sur les plans logique et conceptuel, même si elles ne sont pas menées dans la réalité physique. Par exemple, le bouddhisme analyse les caractéristiques du moi jusqu'à comprendre que ce moi n'est qu'une

étiquette mentale. Les expériences de pensée sont aussi fréquemment utilisées en science. Elles ont été souvent mises en œuvre par Einstein et d'autres grands physiciens, non seulement pour démontrer des principes physiques, mais aussi pour mettre en évidence des résultats paradoxaux dans l'interprétation de certaines situations physiques par exemple. Ainsi, pour étudier la nature du temps et de l'espace, Einstein s'est demandé comment le monde lui apparaîtrait s'il chevauchait une particule de lumière, fendant l'espace à trois cent mille kilomètres par seconde ; pour réfléchir sur la nature de la gravité, il s'est représenté dans un ascenseur en chute libre. Pour démontrer les paradoxes soulevés par une interprétation probabiliste du réel de la mécanique quantique, le physicien autrichien Erwin Schrödinger a quant à lui imaginé le célèbre chat à la fois mort et vivant^{32}.

L'interdépendance des phénomènes

L'enseignement principal que j'ai retiré de mes entretiens avec Matthieu Ricard est qu'il existe une convergence et une résonance profondes entre les deux visions, bouddhiste et scientifique, du réel. Certains énoncés bouddhistes à propos du monde des phénomènes évoquent de manière étonnante telles ou telles idées sous-jacentes de la physique moderne, en particulier celles des deux grandes théories qui en constituent les piliers : la mécanique quantique – physique de l'infiniment petit –, et la relativité – physique de l'infiniment grand. J'analyserai ici cette convergence en examinant les trois concepts philosophiques fondamentaux du bouddhisme : l'interdépendance, la vacuité et l'impermanence.

Le concept d'interdépendance exprime l'idée que toute chose ou tout être ne peut exister de façon autonome ni être sa propre cause. Un objet ne peut être défini qu'en termes d'autres objets et n'exister qu'en relation avec d'autres entités. Autrement dit, ceci surgit parce que cela est. L'interdépendance est essentielle à la manifestation des phénomènes. On objectera que nous ne percevons pas le monde comme un ensemble de choses interconnectées. En fait, celui-ci apparaît comme composé d'entités totalement distinctes – une chaise ici, un arbre là –, issues de causes et de conditions tout aussi distinctes. Le bouddhisme répond que ce n'est qu'une apparence, qu'il existe un profond hiatus entre la façon dont nous percevons le monde, incluant notre propre existence (c'est la « vérité relative » ou « vérité conventionnelle »), et celle dont il est vraiment constitué (« vérité ultime »). Alors que l'expérience du quotidien nous entraîne à croire que les choses ont une réalité objective indépendante, comme si elles existaient de leur propre chef et possédaient une identité intrinsèque, le bouddhisme soutient que ce mode d'appréhension des phénomènes n'est qu'une construction de notre esprit qui ne résiste pas à l'analyse : c'est uniquement en relation et en dépendance avec d'autres facteurs qu'un événement peut survenir. Une chose ne peut surgir que si elle est reliée, conditionnée et conditionnante. Une entité qui existerait indépendamment de toutes les autres devrait soit exister depuis toujours, soit ne pas exister du tout. Elle ne pourrait agir sur rien et rien ne pourrait agir sur elle.

Pour le bouddhisme, le monde est comme un vaste flux d'événements reliés les uns aux autres et participant tous les uns des autres. La façon dont nous percevons ce flux en cristallise certains

aspects de manière purement illusoire et nous fait croire qu'il s'agit d'entités autonomes dont nous sommes entièrement séparés. Le bouddhisme ne nie pas la vérité conventionnelle, celle que l'homme ordinaire voit ou que le savant détecte. Il ne conteste pas les lois de cause à effet, ou les lois physiques et mathématiques. Il affirme simplement que, fondamentalement, il y a une différence entre la façon dont le monde nous apparaît et sa nature ultime. Ainsi, lorsque nous regardons une pomme, nous remarquons sa localisation, sa forme, sa taille ou la couleur de sa peau. L'ensemble de ces propriétés constituent la désignation « pomme ». Cette désignation est une construction mentale qui attribue une réalité en soi à la pomme. Mais lorsque nous analysons la pomme, issue de causes et de conditions multiples – le pommier qui l'a produite, la lumière du soleil et la pluie qui ont nourri ce dernier, la terre du verger où sont plantées ses racines, etc. -, nous sommes incapables d'isoler une identité autonome de la pomme. Ce qui ne veut pas dire que le bouddhisme prétende que la pomme n'existe pas, puisque nous en faisons l'expérience avec nos sens. Il ne prône pas une position nihiliste qui lui est souvent attribuée à tort. Il affirme que cette existence n'est pas autonome mais purement interdépendante, évitant ainsi la position réaliste matérialiste. Il adopte la Voie médiane, ou « Voie du milieu », selon laquelle un phénomène ne possède pas d'existence autonome sans être pour autant inexistant, et peut interagir et fonctionner selon les lois de la causalité.

Selon le bouddhisme, donc, tout est interconnecté. De manière étonnante, des expériences scientifiques nous ont aussi contraints à dépasser nos notions habituelles de localisation dans l'espace. Elles nous ont amenés à conclure que l'univers possède bien un ordre global et indivisible, tant à l'échelle subatomique qu'à celle de l'infiniment grand.

Une célèbre expérience de pensée proposée en 1935 par Einstein et deux de ses collègues, Boris Podolsky et Nathan Rosen (on l'appelle l'« expérience EPR », d'après les initiales des trois auteurs), nous oblige à abandonner nos idées sur la « localité » des choses, sur notre perception d'« ici » ou de « là ». Or ce concept de non-localité est étrangement proche du concept bouddhiste d'interdépendance. En termes simplifiés, l'expérience EPR est la suivante :

Considérons une particule qui se désintègre spontanément en deux photons (des particules de lumière) A et B. Du fait des lois de symétrie, les deux photons partent toujours dans des directions opposées. Si A part vers le nord, nous détectons B au sud. Jusque-là, apparemment rien d'extraordinaire. Mais c'est oublier les bizarreries de la mécanique quantique qui dit qu'une particule a une nature duelle : celle-ci est à la fois onde et particule, et son apparence

dépend du fait que l'instrument de mesure est activé ou non, c'est-à-dire de l'acte d'observation. Avant que le détecteur ne soit activé, le photon A ne présentait pas l'aspect d'une particule, mais celui d'une onde. Cette onde n'étant pas localisée, il existe une certaine probabilité pour que A se trouve dans n'importe quelle direction. C'est seulement quand l'appareil de mesure est activé et que A est capté par ce dernier qu'il se métamorphose en particule et « apprend » qu'il se dirige vers le nord. Mais si, avant d'être capturé, A ne « savait » pas quelle direction il allait prendre, comment B aurait-il pu « deviner » à l'avance le comportement de A et régler le sien de façon à être capté au même instant dans la direction opposée ? Cela n'a aucun sens, à moins d'admettre que A peut informer instantanément B de la direction qu'il a prise. Or la théorie de la relativité chère à Einstein interdit à aucun signal de voyager plus vite que la lumière. « Dieu n'envoie pas de signaux télépathiques », disait le physicien pour souligner qu'il ne peut y avoir de mystérieuse action à distance entre deux particules séparées dans l'espace.

Sur la base de cette expérience de pensée, Einstein conclut donc que la mécanique quantique ne donne pas une description complète de la réalité. Déterministe invétéré, il s'éleva contre la description de la réalité en termes de probabilités par la mécanique quantique. Selon lui, A doit savoir quelle direction il va prendre et communiquer cette information à B avant de s'en séparer. Il faut donc que les propriétés de A aient une réalité objective indépendante de l'acte d'observation. L'interprétation probabiliste de la mécanique quantique selon laquelle A pourrait se trouver dans n'importe quelle direction doit être erronée. Einstein pensait que sous le couvert de l'incertitude quantique devait se cacher une réalité intrinsèque et déterministe. Selon le physicien, la vitesse et la position définissant la trajectoire d'une particule étaient bien *localisées* sur la particule, indépendamment de l'acte d'observation. Il souscrivait à ce qu'on appelle le « réalisme local ». Pour Einstein, la mécanique quantique ne pouvait rendre compte de la trajectoire définie d'une particule, car elle ne prenait pas en compte des paramètres supplémentaires, appelés « variables cachées ». Elle était donc incomplète.

Pendant longtemps, le schéma EPR resta à l'état d'expérience de pensée. Les physiciens ne savaient pas comment la réaliser pratiquement. En 1964, John Bell, un physicien irlandais travaillant au CERN (Organisation européenne pour la recherche nucléaire), conçut un théorème mathématique connu sous le nom d'« inégalités de Bell » qui aurait dû être vérifié expérimentalement s'il existait des variables cachées. Ce théorème permettait d'amener le débat du plan métaphysique à celui de l'expérience concrète. En 1982, à l'université d'Orsay, le physicien français Alain Aspect et son équipe effectuèrent

une série d'expériences sur des paires de photons (les physiciens les appellent des photons « intriqués ») afin de tester l'effet EPR. Les résultats furent sans appel : les inégalités de Bell étaient systématiquement violées. Einstein s'était trompé. Dans l'expérience d'Aspect, les photons A et B sont séparés par douze mètres, et pourtant B « sait » toujours *instantanément* ce que fait A. On sait que ce phénomène est instantané, car un signal lumineux transportant des informations de A à B n'aurait pas eu le temps de couvrir la distance de douze mètres. En effet, des horloges atomiques, associées aux détecteurs captant A et B, permettent de mesurer très précisément le moment d'arrivée de chaque photon. La différence entre les deux temps d'arrivée est inférieure à quelques dixièmes de milliardième de seconde (elle est probablement nulle, mais la précision des horloges atomiques actuelles ne permet pas de mesurer des temps inférieurs à 10^{-10} seconde). Or, en 10^{-10} seconde, la lumière ne peut franchir qu'une distance de trois centimètres, bien inférieure aux douze mètres séparant A de B. De plus, le résultat reste le même lorsqu'on augmente la distance entre les deux photons. Dans l'expérience plus récente réalisée en 1998 par le physicien suisse Nicolas Gisin et son équipe à Genève, les photons sont séparés de dix kilomètres et les comportements de A et B sont toujours parfaitement corrélés. Ces résultats bafouent le bon sens.

La physique classique nous dit que les comportements de A et B devraient être totalement indépendants car ils ne peuvent pas communiquer. Comment expliquer alors le fait que B « sache » toujours instantanément ce que fait A ? Cela pose problème seulement si nous supposons, comme Einstein, que la réalité est morcelée et localisée sur chacun des photons. Mais le paradoxe n'a plus cours si nous admettons que A et B font partie d'une réalité globale, quelle que soit la distance qui les sépare, même s'ils se trouvent aux deux extrémités de l'univers. A n'a pas besoin d'envoyer un signal à B car tous deux font partie d'une même réalité. Les deux photons restent constamment en relation par une interaction mystérieuse. L'expérience EPR élimine ainsi toute idée de localisation. Elle confère un caractère holistique à l'espace. Les notions d'« ici » et de « là » n'ont plus de sens, car « ici » est identique à « là ». Les physiciens appellent cela la « non-séparabilité » de l'espace.

Le pendule de Foucault

L'espace n'est pas seulement indivisible à l'échelle subatomique, il l'est aussi à l'échelle de l'univers entier. C'est ce que nous montre une autre expérience de physique tout aussi célèbre, celle du pendule de Foucault.

Le physicien français Léon Foucault voulait démontrer non pas que l'univers est indivisible, mais que la Terre tourne sur elle-même. En 1851, dans une expérience qui est maintenant reproduite dans nombre de musées du monde, il suspendit un pendule à la voûte du Panthéon, à Paris. Nous connaissons tous le comportement du pendule : une fois lancé, son plan d'oscillation pivote au fil des heures. Si on le lance dans la direction nord-sud, au bout de quelques heures il oscillera dans la direction est-ouest. Si nous étions aux pôles, le pendule ferait un tour complet en exactement vingt-quatre heures. À Paris, à cause d'un effet de latitude, le pendule n'accomplit qu'une fraction de tour en une journée. Pourquoi la direction du pendule change-t-elle ? Foucault répondit à juste titre que ce mouvement n'était qu'apparent : le plan d'oscillation du pendule reste fixe ; c'est la Terre qui tourne. Ayant ainsi mis en évidence la rotation de la Terre, il en resta là.

Mais la réponse de Foucault était incomplète, car un mouvement ne peut être décrit que par rapport à quelque chose qui ne bouge pas. C'est le principe de relativité découvert par Galilée et développé au plus haut point par Einstein : le mouvement absolu n'existe pas. Galilée avait déjà compris que « le mouvement est comme rien ». Le mouvement n'existe pas en soi, mais *relativement* à un repère fixe. Le plan du pendule est fixe, mais il reste fixe par rapport à quel repère ? Quel objet détermine son comportement ? Si un objet est responsable du mouvement du pendule, il restera dans son plan d'oscillation, dont on sait qu'il est fixe. En revanche, si le mouvement du pendule n'est pas déterminé par cet objet, celui-ci finira par dériver en dehors du plan.

Prenons des objets astronomiques connus, des plus proches aux plus lointains. Orientons le plan de notre pendule vers le Soleil. Pendant le périple journalier de notre astre dans le ciel – mouvement apparent dû à la rotation de la Terre –, le plan d'oscillation du pendule semble tourner pour suivre le mouvement solaire. Serait-ce le Soleil qui détermine le plan d'oscillation de notre pendule ? Non, car notre astre sort du plan d'oscillation après quelques semaines. Les

étoiles les plus proches, situées à quelques années-lumière, font de même après quelques années. La galaxie Andromède, située à 2,3 millions d'années-lumière, dérive moins, mais finit par sortir du plan. Le temps passé dans le plan s'allonge et la dérive tend vers zéro au fur et à mesure que les objets testés sont plus éloignés. C'est seulement quand le pendule est orienté vers les amas de galaxies les plus lointains, situés à des milliards d'années-lumière, aux confins de l'univers connu, que ceux-ci ne dérivent plus par rapport au plan d'oscillation du pendule.

La conclusion à tirer de ces expériences est extraordinaire : le pendule de Foucault ajuste son comportement non pas en fonction de son environnement local, mais en fonction des galaxies les plus éloignées, ou plus exactement de l'univers tout entier, puisque la quasi-totalité de la masse visible de l'univers se trouve non dans les étoiles proches, mais dans ces galaxies lointaines. En d'autres termes, ce qui se trame chez nous se décide dans l'immensité cosmique, ce qui se passe sur notre minuscule planète dépend de la totalité des structures de l'univers !

Pourquoi le pendule de Foucault se comporte-t-il ainsi ? La réponse n'est pas connue pour l'instant. Le physicien autrichien Ernst Mach (qui a donné son nom à l'unité de mesure des vitesses supersoniques) y voyait une sorte d'omniprésence de la matière et de son influence. Selon lui, la masse d'un objet – la quantité qui mesure son inertie, c'est-à-dire sa résistance au mouvement – résulte de l'influence de l'univers tout entier sur cet objet. C'est ce qu'on appelle le « principe de Mach », énoncé à la fin du XIX^e siècle. Lorsque vous peinez à pousser une voiture en panne, la résistance qu'elle exerce au mouvement émane de la totalité de l'univers. Nous retrouvons là le concept bouddhiste d'interdépendance : chaque partie porte en elle la totalité, et de chaque partie dépend tout le reste. Mach n'a jamais formulé en détail cette influence universelle mystérieuse, qui est distincte de la gravité, et personne n'a su le faire après lui. En tout cas, le pendule de Foucault nous force à admettre qu'il existe dans l'univers une interaction d'une tout autre nature que celles décrites par la physique connue : une interaction qui ne fait intervenir ni force ni échange d'énergie, mais qui relie l'univers en son entier.

Fils des étoiles, frères des dauphins

La physique moderne a non seulement démontré l'interdépendance du monde des particules et de l'univers, mais elle a aussi mis en évidence l'intime connexion de l'homme avec le cosmos. Nous savons aujourd'hui que nous sommes tous faits d'atomes fabriqués lors de l'explosion primordiale d'abord, et lors de l'alchimie nucléaire des étoiles ensuite. Les atomes d'hydrogène et d'hélium qui constituent 98% de la masse totale de la matière ordinaire dans l'univers ont été générés pendant les trois premières minutes de son existence. Les atomes d'hydrogène dans l'eau des océans ou dans notre corps proviennent tous de cette soupe primordiale. Nous partageons tous une même généalogie cosmique qui remonte à 13,7 milliards d'années, l'âge de l'univers. Quant aux éléments lourds essentiels à la complexité et à l'émergence de la vie et de la conscience, et qui constituent les 2% restants, ils ont été fabriqués dans les creusets stellaires et les supernovae, morts explosives d'étoiles massives.

Nous sommes tous faits de poussières d'étoiles. Frères des bêtes sauvages et cousins des fleurs des champs, nous portons tous en nous l'histoire cosmique. Le simple fait de respirer nous relie à tous les êtres qui ont vécu sur le globe. Par exemple, nous inhalons encore aujourd'hui des millions de noyaux d'atomes partis en fumée lors du supplice de Jeanne d'Arc en 1431, et quelques molécules provenant du dernier souffle de Jules César. Les milliards de molécules d'oxygène que nous inhalons avec chaque bouffée d'air ont été un jour ou l'autre dans les poumons de chacun des cinquante milliards d'individus ayant vécu sur Terre. Quand un organisme vivant meurt et se décompose, ses atomes sont libérés dans l'environnement, puis intégrés dans d'autres organismes. Nos corps contiennent ainsi environ un milliard d'atomes qui ont appartenu à l'arbre sous lequel le Bouddha a atteint l'Éveil... il y a quelque deux mille cinq cents ans.

Autre interconnexion découverte par la science : nous sommes tous liés les uns aux autres génétiquement. Nous descendons tous de l'*Homo habilis* apparu en Afrique il y a environ un million huit cent mille ans, quelles que soient notre ethnie et notre couleur de peau. En remontant assez loin dans le temps, nous devenons tous des cousins éloignés. Plus étonnant encore : le décodage du génome de l'homme et d'autres espèces vivantes nous révèle que cette convergence d'arbres généalogiques ne concerne pas seulement l'espèce humaine,

mais également toutes les autres. Par exemple, nous partageons 99,5% de nos gènes avec les chimpanzés, ce qui implique que nous descendons tous d'un ancêtre commun et que si nous pouvions remonter assez loin dans l'arbre généalogique des chimpanzés, nous verrions qu'il se confondrait inévitablement avec le nôtre à un moment donné. Ce qui est vrai pour les chimpanzés l'est aussi pour tous les autres organismes vivants, des dauphins aux rossignols, en passant par les cigales, les grands chênes, les champignons, ou les roses. Nos arbres généalogiques se rejoignent inéluctablement, tôt ou tard, pour ne former qu'un seul et unique arbre – celui de la vie. Il y a environ cinq cents millions d'années, mon ancêtre était un poisson. Remontons le temps d'environ un milliard et demi d'années, mes aïeux étaient des bactéries. Nous descendons tous, en fait, d'un seul et même organisme, une cellule primitive datant d'environ 3,8 milliards d'années.

Enfant des étoiles, j'ai peut-être ressenti le plus intensément ma filiation cosmique quand j'ai vu pour la première fois les images émouvantes de notre planète bleue flottant dans l'immensité noire de l'espace. Cette filiation fait que nous sommes tous responsables de notre Terre, belle et fragile, et que nous devons la préserver de la dévastation écologique que nous lui infligeons. Le poète anglais William Blake a magnifiquement exprimé la globalité cosmique dans un poème visionnaire écrit en 1803 :

*« Voir un univers dans un grain de sable,
Et un paradis dans une fleur sauvage,
Tenir l'infini dans la paume de la main,
Et l'éternité dans une heure^{33}. »*

L'univers entier est effectivement contenu dans un grain de sable, car l'explication des phénomènes les plus simples fait intervenir l'histoire entière de l'univers.

La vacuité : l'absence d'une réalité intrinsèque

La notion d'interdépendance nous amène directement à l'idée bouddhiste de la vacuité, qui ne signifie pas « néant » (je l'ai dit, c'est par méconnaissance que le bouddhisme a souvent été accusé à tort de nihilisme), mais « absence d'existence propre ». Parce que tout est interdépendant, rien n'existe en soi, ni ne peut être sa propre cause. L'idée d'une réalité autonome n'est pas valide.

De nouveau, la mécanique quantique tient des propos étonnamment similaires. Selon Bohr et Heisenberg, nous ne pouvons plus parler d'atomes ou d'électrons en termes d'entités réelles possédant des propriétés bien définies, telles que la vitesse ou la position. Nous devons les considérer comme formant un monde non plus de choses et de faits, mais de potentialités. Pour reprendre l'exemple de la lumière et de la matière, leur nature devient un jeu de relations interdépendantes. Elle n'est plus intrinsèque, mais change par l'interaction entre l'observateur et l'objet observé. La lumière comme la matière n'ont pas d'existence intrinsèque parce qu'elles peuvent apparaître soit comme des particules, soit comme des ondes, selon que l'appareil de mesure est activé ou pas. Leur nature n'est plus unique mais duelle. Ces deux aspects sont complémentaires et indissociables l'un de l'autre. C'est ce que Bohr a appelé le « principe de complémentarité ».

L'observation modifie la réalité du monde atomique et subatomique et en crée une nouvelle. Parler d'une réalité « objective » pour un électron, d'une réalité qui existe sans qu'on l'observe, a peu de sens puisqu'on ne peut jamais l'appréhender. Toute tentative visant à saisir une réalité intrinsèque se solde par un échec cuisant. Celle-ci est irrémédiablement modifiée et se transforme en une réalité « subjective » qui dépend de l'observateur et de son instrument de mesure. La réalité du monde subatomique n'a de sens qu'en présence d'un observateur. Nous ne sommes plus des spectateurs passifs devant le drame majestueux du monde des atomes, notre présence en change le cours.

Bohr parlait de l'impossibilité d'aller au-delà des faits et résultats des expériences et mesures : « Notre description de la nature n'a pas pour but de révéler l'essence réelle des phénomènes, mais simplement de découvrir autant que possible les relations entre les nombreux aspects de notre existence^[34]. » La mécanique quantique relativise radicalement la notion d'objet en la subordonnant à celle de mesure,

c'est-à-dire à celle d'événement. De plus, le flou quantique impose une limite fondamentale à la précision des mesures. Heisenberg a démontré qu'il existera toujours une incertitude soit dans la position, soit dans la vitesse d'une particule. La mécanique quantique a fait perdre à la matière sa substance. Par là, elle rejoint la notion de vacuité bouddhiste.

L'impermanence au cœur de la réalité

Pour le bouddhisme, l'interdépendance est intimement liée à l'impermanence des phénomènes. L'univers n'est pas fait d'entités solides et distinctes, il est comme un vaste flux d'événements changeants et mouvants, et de courants dynamiques en perpétuelle évolution, tous interconnectés et interagissant continuellement. Nous percevons tous l'impermanence « grossière » : nos émotions qui fluctuent, les saisons qui passent, les châteaux non entretenus qui tombent en ruine, les montagnes qui s'érodent, les changements de notre corps au fil de la vie... L'impermanence « subtile » est moins évidente pour nos sens, quoiqu'elle se manifeste partout, à l'échelle du plus petit intervalle de temps concevable : à chaque moment infinitésimal, tout ce qui semble exister se transforme. Ce concept de changement perpétuel et omniprésent rejoint ce que dit la cosmologie moderne : tout bouge, tout change, tout évolue, tout est impermanent, du plus petit atome à l'univers entier en passant par les galaxies, les étoiles et les hommes.

Propulsé par une déflagration primordiale, l'univers est en expansion. Parti d'un état extrêmement petit, chaud et dense, il s'agrandira, se refroidira et se diluera de plus en plus. Avec la théorie du big bang, l'univers a acquis une histoire. Il a un commencement, un passé, un présent et un futur. Les dernières observations nous disent que son expansion se poursuivra jusqu'à la fin des temps et qu'il mourra un jour dans un froid glacial. Toutes les structures de l'univers – planètes, étoiles, galaxies ou amas de galaxies – sont en mouvement perpétuel et participent à un immense ballet cosmique : mouvement de rotation autour d'elles-mêmes, révolutions, éloignement ou rapprochement les unes des autres. Elles aussi ont une histoire : elles naissent, évoluent et meurent. Les étoiles suivent des cycles de vie et de mort qui se mesurent en millions, voire en milliards d'années. Au moment où j'écris ces lignes, la Terre nous entraîne à travers l'espace à trente kilomètres par seconde dans son voyage annuel autour du Soleil. Celui-ci emmène à son tour la Terre dans son périple autour de la Voie lactée à deux cent trente kilomètres par seconde. La Voie lactée tombe elle-même à quatre-vingt-dix kilomètres par seconde vers sa compagne Andromède. Et ce n'est pas fini : le Groupe local qui contient notre galaxie et Andromède tombe à quelque six cents kilomètres par seconde, attiré par l'amas de la Vierge et par le superamas de galaxies le plus proche du superamas

local, celui de l'Hydre et du Centaure. Le ballet ne s'arrête pas là : ce dernier tombe quant à lui vers une grande agglomération de dizaines de milliers de galaxies appelée le « Grand Attracteur ». Le ciel statique et immuable d'Aristote est bel et bien mort. Tout n'est qu'impermanence, changement et transformation.

Le monde atomique et subatomique n'est pas en reste. Là aussi, tout est impermanence. Les particules peuvent changer de nature : un quark (brique fondamentale de la matière) peut changer de famille ou de « saveur », un proton peut devenir un neutron avec émission d'un positon (l'antiparticule de l'électron) et d'un neutrino. Par des processus d'annihilation avec l'antimatière, la matière peut se muer en énergie pure. Le mouvement d'une particule peut se transformer en particule, et vice versa. En d'autres termes, la propriété d'un objet peut se transformer en objet. Grâce au flou quantique de l'énergie, l'espace qui nous entoure est peuplé d'un nombre inimaginable de particules dites « virtuelles », à l'existence fantomatique et éphémère. Apparaissant et disparaissant dans des cycles de vie et de mort d'une durée infinitésimale, elles incarnent l'impermanence au plus haut degré.

Il existe ainsi des convergences remarquables entre les visions scientifique et bouddhiste du réel. Il subsiste cependant une question à propos de laquelle le bouddhisme peut entrer en conflit avec la cosmologie moderne. Elle a trait aux origines de l'univers et au fait que ce dernier a été réglé de façon étonnamment précise pour permettre l'apparition de la vie et de la conscience.

Le fantôme de Copernic et le principe anthropique

En 1543, Nicolas Copernic déloge l'homme de sa place centrale dans le système solaire. Depuis, son fantôme n'a cessé de nous hanter et de causer d'autres ravages. Non seulement la Terre perdit sa place centrale, mais le Soleil fut à son tour ramené au rang de simple étoile parmi les centaines de milliards de la Voie lactée et relégué dans une lointaine banlieue de cette dernière. Voie lactée qui se retrouva vite perdue parmi les centaines de milliards de galaxies de l'univers observable. L'homme était réduit à l'insignifiance face à l'immensité de l'espace. Cette réduction de la conscience humaine au néant en plongea certains dans un profond désespoir. Pascal poussa déjà, au XVII^e siècle, bien avant la découverte des galaxies et de l'immensité de l'univers, un poignant cri d'angoisse : « Le silence éternel des espaces infinis m'effraie^{35} », auquel firent écho, trois siècles plus tard, le Prix Nobel de médecine Jacques Monod : « L'homme est perdu dans l'immensité indifférente de l'univers d'où il a émergé par hasard^{36} », et le Prix Nobel de physique Steven Weinberg : « Plus on comprend l'univers, plus il nous apparaît vide de sens^{37}. »

Je ne partage pas cette vue désespérante. Je suis plutôt d'avis que la cosmologie moderne a réenchanté le monde. Je ne pense pas que l'homme ait émergé par hasard dans un univers qui lui serait totalement indifférent. Au contraire, tous deux sont en étroite symbiose : si l'univers est aussi vaste, c'est pour permettre notre présence. Si l'univers est tel qu'il est, c'est parce que l'homme est là pour l'observer et se poser des questions. La cosmologie moderne a découvert que l'existence de l'être humain est inscrite dans les propriétés de chaque atome, de chaque étoile, de chaque galaxie de l'univers et dans chacune des lois physiques qui régissent le cosmos. Que des propriétés et des lois de l'univers diffèrent un tant soit peu et nous ne serons plus là pour en parler. L'univers semble être parfaitement réglé pour l'apparition d'un observateur intelligent, capable d'apprécier son organisation et son harmonie. Le physicien anglo-américain Freeman Dyson l'affirme : « L'univers savait quelque part que l'homme allait venir^{38}. » Cette symbiose extraordinaire entre l'homme et l'univers est connue sous le nom de « principe anthropique », du grec *anthropos*, « homme ». Je ferai deux remarques. D'abord, je trouve le qualificatif d'« anthropique » mal choisi, car il sous-entend que l'univers tend vers l'homme exclusivement. Quid alors des autres êtres, voire des extraterrestres, s'ils existent ? En fait,

l'univers est en symbiose non seulement avec l'homme mais avec toute forme d'intelligence qu'il héberge. D'autre part, la définition que j'ai donnée du principe anthropique ne concerne que sa version dite « forte » : l'univers tend vers une forme de conscience. Il en existe aussi une version « faible », qui ne suppose aucune direction dans l'évolution de l'univers. Elle énonce simplement que « les propriétés de l'univers doivent être telles qu'elles permettent l'existence de l'homme^[39] ». Cette version faible est à mon sens une tautologie sans grand intérêt.

Comment les astrophysiciens se sont-ils aperçus de cette étroite symbiose entre l'homme et le cosmos ? Il faut savoir que toutes les propriétés de l'univers dépendent de deux types de paramètres. D'abord, il y a les propriétés dont les fées l'ont doté à sa naissance, les « conditions initiales » : ce sont, par exemple, le contenu en matière (lumineuse ou non) et en énergie de l'univers, ou encore son taux d'expansion initial. Viennent ensuite une quinzaine de nombres dans la nature, dits « constantes physiques », telles la constante de gravitation qui détermine l'intensité de la force gravitationnelle, la constante de Planck qui détermine la taille des atomes, la masse des particules élémentaires ou encore la vitesse de la lumière. Ces nombres, comme leur nom l'indique, sont véritablement constants, ne variant ni dans l'espace ni dans le temps. Nos descendants lointains ou des extraterrestres vivant à l'autre bout de l'univers mesureront exactement les mêmes. Nous avons pu mesurer expérimentalement la valeur de ces constantes avec une très grande précision, mais nous ne disposons d'aucune théorie physique expliquant pourquoi elles ont la valeur qu'elles ont plutôt qu'une autre. Ainsi, nous ne savons pas pourquoi la lumière voyage à trois cent mille kilomètres par seconde au lieu de, par exemple, trois mètres par seconde.

Ces nombres de la nature jouent un rôle fondamental dans la fabrication du réel : ils font que le monde est tel qu'il est, au lieu d'être tout autre. Ce qui semble être une lapalissade reflète l'éventail infini des masses et des tailles dont dispose la nature pour bâtir le contenu de l'univers. Ainsi, les planètes, au lieu d'être des boules sphériques de quelques milliers de kilomètres, auraient pu avoir la taille de minuscules grains de poussière. La plus haute montagne sur Terre aurait pu ne pas dépasser quelques centimètres et les êtres humains ne pas être plus grands que des microbes. Ces constantes déterminent non seulement la masse et la taille de la Terre, mais aussi celles des étoiles et des galaxies et de tout autre objet dans l'univers : la hauteur des arbres, les contours délicats d'un pétale de rose, les formes d'une sculpture de Rodin, les longs cous des girafes ou encore la silhouette d'une femme.

Les astrophysiciens ont découvert l'intime connexion entre

l'homme et l'univers en voulant jouer aux démiurges et fabriquer des univers. Bien sûr, nous ne pouvons espérer reproduire en laboratoire l'énergie inimaginable qui existait lors de la naissance de l'univers. Le plus grand accélérateur de particules du monde actuel, le Large Hadron Collider (LHC) à Genève, ne peut reproduire, malgré toute sa puissance, que l'énergie de l'univers à un millième de milliardième de seconde après le big bang. Pour recréer l'énergie de l'explosion primordiale avec notre technologie, il faudrait un accélérateur long de quelques dizaines de milliers d'années-lumière, aussi grand que la Voie lactée, ce qui n'est pas pour demain ! Ne s'avouant pas vaincus, les scientifiques ont appelé leurs ordinateurs à la rescousse. Avec ceux-ci, ils se sont mis à concocter fébrilement une multitude d'univers fictifs, chacun avec sa propre combinaison de constantes physiques et de conditions initiales. Dans l'un la constante de gravité serait moins grande, dans l'autre la quantité de matière serait plus grande, dans un troisième la masse de l'électron serait dix fois plus importante, etc. La question qu'ils se sont posée pour chaque modèle d'univers est : « Héberge-t-il la vie et la conscience après une évolution de 13,7 milliards d'années ? » La réponse est des plus surprenantes : la très grande majorité des univers possèdent une combinaison « perdante » et se retrouvent dépourvus de vie et de conscience – sauf le nôtre, où la combinaison est « gagnante » et dont nous représentons, en quelque sorte, le gros lot. La plupart des univers sont stériles parce qu'ils sont incapables de fabriquer des étoiles massives. Sans celles-ci, les éléments lourds comme le carbone, brique de la vie, ne pourraient exister.

La précision du réglage de certaines constantes fondamentales et de certaines conditions initiales est proprement époustouflante. Considérons par exemple celui qui existe entre la charge électrique du proton et celle de l'électron. Le premier a une charge positive, tandis que le second possède une charge négative. Bien que le proton soit près de deux mille fois plus massif que l'électron, leurs charges sont égales à un extrême degré de précision. Si la charge électrique du proton et celle de l'électron différaient un tant soit peu, par exemple seulement d'un cent millième de milliardième, les atomes qui composent la matière ne seraient plus neutres, les forces électromagnétiques les feraient se repousser les uns les autres, et les pierres, les tables et les personnes exploseraient. À l'échelle des galaxies ou des étoiles, cette contrainte d'égalité des charges devient encore plus importante, car ces objets contiennent encore plus d'atomes. Si les charges du proton et de l'électron différaient ne serait-ce que d'un milliardième de milliardième (10^{-18}), tout dans l'univers exploserait : la Terre, le Soleil, les étoiles. Sans étoiles, il n'y aurait ni élément lourd, ni vie, ni conscience.

Considérons ensuite le réglage extraordinaire de la force électromagnétique par rapport à la force gravitationnelle. La première est fantastiquement plus grande que la seconde. Ainsi, la force électromagnétique entre deux protons est 10^{36} plus grande que leur attraction gravitationnelle. Cette faiblesse exceptionnelle de la force gravitationnelle par rapport à la force électromagnétique est la raison pour laquelle vous pouvez par exemple si facilement soulever un clou avec un aimant malgré toute la force de gravité attractive de la Terre qui tente de le retenir au sol. Mais, en dépit de son extrême faiblesse, la gravité règne en maître dans l'univers et régit les mouvements des galaxies, des étoiles et des planètes car, à mesure que les objets grandissent, leur masse et leur force gravitationnelle croissent en proportion. Et cela parce que la gravité agit toujours dans le même sens : elle est toujours attractive. Ce qui n'est pas le cas de la force électromagnétique : deux charges de même signe se repoussent et deux charges de signe opposé s'attirent. Une nette charge électrique est nécessaire pour que la force électromagnétique agisse. Toutefois, à cause de l'égalité des charges de l'électron et du proton, les charges électriques négatives et positives dans les innombrables atomes qui composent les structures cosmiques s'annulent presque parfaitement, ce qui rend les forces électromagnétiques inopérantes sur de larges distances.

Pour apprécier le réglage extrêmement précis du rapport de ces deux forces, considérons un univers où la force de gravité serait multipliée par dix, c'est-à-dire qu'elle serait non pas 10^{36} mais 10^{35} fois plus faible que la force électromagnétique. Comment serait cet univers ? Les étoiles deviendraient considérablement plus petites parce que les forces de compression dues à la gravité seraient dix fois plus grandes. Une étoile dans cet univers ne posséderait que 10^{-15} fois la masse de notre Soleil. Elle aurait une masse de 10^{12} tonnes, soit celle d'un astéroïde. Le diamètre de l'étoile serait de l'ordre de deux kilomètres au lieu du million de kilomètres du Soleil, et sa durée de vie serait d'une année au lieu des dix milliards d'années de notre astre. On aurait ainsi un univers où tout serait accéléré dans le temps, et où tout serait réduit en taille. Les galaxies deviendraient un dixième de milliardième de fois moins grandes. Au lieu de posséder des diamètres de cent mille années-lumière comme notre Voie lactée, elles auraient des diamètres d'environ cinq minutes-lumière, soit moins que la distance Terre-Soleil. Les planètes seraient trois cents fois plus proches de leur soleil. Au lieu de trois cent soixante-cinq jours pour faire le tour de leur étoile, il leur en faudrait vingt seulement. Les planètes tourneraient sur elles-mêmes en une seconde. La montagne la plus élevée sur ces planètes aurait seulement trente centimètres de hauteur. Les organismes vivants de cet univers seraient

bien plus petits et auraient une masse d'un millième de gramme, soit beaucoup moins qu'un insecte. Dans ce genre d'univers, l'évolution biologique n'aurait pas assez de temps pour mener à la vie et à la conscience. Ainsi, supprimez un seul 0 au nombre 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 – le rapport de la force électromagnétique à la force gravitationnelle – et l'univers devient vide et stérile. De nouveau, la précision du réglage est à couper le souffle.

Prenons un dernier exemple encore plus impressionnant. Considérons la densité initiale de matière dans l'univers. La matière exerce une force gravitationnelle attractive qui freine l'expansion universelle. Si la densité initiale était trop élevée, l'univers cesserait de se diluer et inverserait son mouvement. Selon la valeur exacte de la densité, il s'effondrerait sur lui-même au bout d'un million d'années, d'un siècle, ou même d'une année. Ce laps de temps serait trop court pour que les étoiles naissent et se livrent à leur alchimie nucléaire. Sans éléments lourds, la vie ne serait pas possible. À l'inverse, si la densité initiale était trop faible, la force de gravité serait insuffisante pour faire s'effondrer les nuages d'hydrogène et d'hélium issus du big bang et former des étoiles. Et sans étoiles, pas d'éléments lourds, donc pas de vie ni de conscience ! Tout se joue en fonction d'un équilibre extrêmement délicat, d'une précision comparable à celle dont devrait faire preuve un archer pour planter une flèche dans une cible carrée d'un centimètre de côté qui serait placée aux confins de l'univers !

Même si ce réglage minutieux n'est pas aussi spectaculaire pour les autres conditions initiales et constantes physiques, la conclusion reste la même : un changement infime entraînerait la stérilité de l'univers. Celui-ci était gros de la vie et de la conscience dès son début.

Hasard ou nécessité ?

Quelle attitude adopter devant un réglage d'une telle précision ? Selon moi, nous avons le choix entre hasard et nécessité. Les partisans du hasard font appel à la théorie du « multivers » selon laquelle notre monde ne serait qu'une petite bulle parmi une infinité d'autres bulles dans un méta-univers. Chacun de ces univers-bulles posséderait sa propre combinaison de constantes physiques et de conditions initiales ; parmi eux, nul n'abriterait de vie consciente – car ils n'auraient pas la bonne combinaison –, hormis le nôtre qui, par le plus grand des hasards, posséderait la combinaison gagnante, et nous sommes là pour en parler. C'est comme si nous achetions tous les billets de loterie : l'un d'eux possède nécessairement le numéro gagnant. Il existe des théories scientifiques qui prédisent l'existence d'un multivers. Par exemple, l'une d'entre elles veut que chacune des innombrables fluctuations de la mousse quantique de l'espace-temps originel s'amplifierait pour donner naissance à une bulle-univers parmi une infinité d'autres dans un méta-univers. De leur côté, les partisans de la nécessité soutiennent qu'il n'y a pas lieu de postuler une infinité d'univers, que le nôtre est unique et que son réglage si précis pour l'apparition d'un observateur ne peut être le seul fait du hasard, mais est l'expression d'un principe organisateur subtil qui se manifeste dans les lois de la nature.

Pour l'heure, la science n'a pas les moyens de trancher entre ces deux hypothèses. Toutes deux sont compatibles avec ce que nous savons de l'univers. Il nous faut donc nous jeter à l'eau et parier, comme Pascal. Je parie pour ma part sur la nécessité, et cela pour plusieurs raisons. Avec nos télescopes, nous ne pouvons observer que notre univers. Postuler l'existence d'une infinité d'univers parallèles, totalement déconnectés du nôtre, et donc invérifiables, fait violence à ma sensibilité d'observateur du cosmos. Sans vérification expérimentale, la science a tôt fait de s'enliser dans la métaphysique. De surcroît, je souscris au principe d'économie appelé « rasoir d'Occam ». Or c'est aller à l'encontre de ce principe d'économie que de postuler une infinité d'univers aussi infertiles qu'invérifiables, juste pour en avoir un qui soit conscient de lui-même...

Autre raison pour laquelle je m'insurge contre l'hypothèse du hasard : je ne puis concevoir que toute la beauté, l'harmonie et l'unité du monde ne soient que le seul fait de la contingence, que la merveilleuse organisation du cosmos que je contemple avec mes

télescopes n'ait aucun sens. L'univers est beau : des pouponnières stellaires aux galaxies spirales, des cimes enneigées aux vastes plaines verdoyantes, des couchers de soleil rougeoyants à la splendeur des nuits étoilées, du ciel bleu aux magnifiques aurores boréales, l'univers nous touche au plus profond de l'âme. Il est harmonieux car les lois physiques qui le régissent semblent ne varier ni dans l'espace ni dans le temps. Les lois qui dictent le comportement des phénomènes physiques sur Terre, petit grain de sable dans le vaste océan cosmique, sont les mêmes que celles qui règlent les galaxies les plus lointaines. Nous le savons, car les télescopes sont des machines à remonter le temps : voir loin, c'est voir tôt.

Enfin, il existe une profonde unité dans l'univers. À mesure que la physique a progressé, des phénomènes que l'on croyait totalement distincts ont pu être unifiés. Au XVII^e siècle, Newton unifie le ciel et la Terre : la même force de gravité universelle dicte aussi bien la chute d'une pomme dans un verger que le mouvement des planètes autour du Soleil. Au XIX^e siècle, Maxwell montre que l'électricité et le magnétisme ne sont que deux facettes d'un même phénomène : en prouvant que les ondes électromagnétiques ne sont autres que des ondes lumineuses, il unifie l'électromagnétisme et l'optique. Au début du XX^e siècle, Einstein unifie le temps et l'espace, la masse et l'énergie. À l'aube du XXI^e siècle, les physiciens travaillent d'arrache-pied à unifier les quatre forces fondamentales de la nature (la force de gravité, la force électromagnétique et les deux forces nucléaires forte et faible) en une seule superforce. L'univers tend vers l'un.

L'homme et l'univers sont en étroite symbiose

Il est deux autres raisons pour lesquelles je pense que la vie et la conscience n'ont pas émergé par hasard dans un univers qui leur serait totalement indifférent. La première a trait à la mécanique quantique, la physique qui décrit l'infiniment petit et qui régit le comportement des atomes et des particules subatomiques. En démontrant que toute particule de matière ou de lumière possède deux visages complémentaires (particule et onde) selon l'état de l'instrument qui la mesure (activé ou pas), elle nous fournit une vue tout à fait étonnante du réel qui défie le « bon sens ». Objet et sujet ne sont plus des entités radicalement distinctes, mais indissolublement liées. Parce que l'observateur et le phénomène observé sont interdépendants, il était inévitable qu'un être conscient émerge dans l'univers pour l'observer et lui donner un sens. Ainsi peut-on penser que l'homme participe par sa présence à la genèse même de l'univers, ce que le physicien américain John Wheeler a appelé le « principe anthropique participatoire ».

Un dernier argument me conduit à penser que la conscience n'est pas un simple accident de l'évolution cosmique, un événement contingent qui aurait pu fort bien ne pas se produire, mais qu'elle est le résultat inéluctable de lois physiques et biologiques réglées depuis le début de façon extrêmement précise. Cet argument tient au fait étonnant que l'univers est compréhensible et intelligible. Nous aurions tout à fait pu vivre dans un univers où les régularités seraient si bien cachées, les motifs si bien dissimulés, que déchiffrer le code cosmique eût été impossible au cerveau humain. À l'inverse, nous aurions très bien pu habiter un univers où les régularités seraient si évidentes qu'aucun effort mental n'eût été requis pour en saisir le sens. Or nous ne vivons ni dans l'un ni dans l'autre de ces cas extrêmes, mais dans un univers intermédiaire où la difficulté du code cosmique semble être mystérieusement ajustée à l'aptitude du cerveau humain à le comprendre. Que penser de cet extraordinaire ajustement ?

Pour le darwiniste convaincu, ce qui paraît être une surprenante coïncidence n'est que l'œuvre de la sélection naturelle : celle-ci a façonné le cerveau de l'homme afin qu'il comprenne la nature et s'adapte mieux à son environnement, ce qui améliore ses chances de survie. Je ne peux nier que l'évolution darwinienne ait contribué à développer nos capacités mentales, les préparant à mieux connaître le monde et à mieux affronter les défis de la vie, mais il ne faut pas

oublier que nous appréhendons le monde de deux manières distinctes : d'une part, nous en avons une connaissance directe, sensorielle et instinctive ; d'autre part, nous en possédons une connaissance intellectuelle, réfléchie, moins immédiate. Si nous regardons une pomme tomber dans le verger, nous pouvons nous contenter d'une connaissance purement sensorielle. Nous pouvons admirer la couleur de sa peau, suivre sa chute de la branche du pommier jusqu'au sol, prêter l'oreille au bruit de l'impact sur l'herbe, ou encore anticiper sa saveur quand nous la croquerons. Mais nous pouvons aussi considérer la chute du fruit à un niveau beaucoup plus abstrait : nous pouvons utiliser la loi de la gravitation de Newton pour calculer précisément la trajectoire suivie par la pomme dans sa chute, le temps qu'elle met à toucher le sol, l'endroit où elle atteint l'herbe, sa vitesse d'impact, et vérifier tous ces calculs par des mesures précises. Il n'existe a priori aucune connexion entre ces deux modes de connaissance.

Si la connaissance sensorielle répond bien à une nécessité biologique – il est certainement utile que nous soyons conscients de la chute de la pomme pour l'esquiver et ne pas être blessé –, il n'en va pas de même de la connaissance intellectuelle. Quand un projectile fonce vers nous, plutôt que de réfléchir et de calculer sa trajectoire, nous réagissons de manière instinctive pour l'éviter. Quand nous sautons par-dessus un fossé, nous prenons instinctivement assez d'élan pour nous retrouver de l'autre côté, sans nous attarder à analyser la situation en fonction des lois de la mécanique et de la gravitation. Ce comportement instinctif est analogue à celui des animaux : un chien qui bondit pour attraper une balle au vol ne connaît assurément pas les lois physiques ; un papillon qui bat des ailes pour voler le fait sans la moindre notion des principes hydrodynamiques ; les abeilles qui construisent une ruche le font dans l'ignorance des règles de l'architecture. Cette connaissance intuitive est inscrite dans les gènes du chien, du papillon et de l'abeille, tout comme notre instinct, façonné à partir des expériences de nos ancêtres en des temps immémoriaux, est de nature génétique.

La lutte pour la survie ne requiert pas la connaissance des lois de la propagation de la lumière, ni la compréhension de la formation de l'univers, des galaxies ou des trous noirs. Une connaissance poussée de la structure des atomes ou des cellules n'est pas d'une utilité immédiate dans la compétition pour des ressources limitées. Après tout, les premiers humains s'en sont très bien passés pendant des millions d'années. Si seule la connaissance sensorielle du monde est indispensable à notre survie, si elle seule relève d'une nécessité biologique, alors pourquoi l'homme est-il doué d'une « déraisonnable efficacité » lorsqu'il s'agit de comprendre l'univers ? Pourquoi peut-il

se rendre compte que le cosmos est bien plus qu'une juxtaposition d'événements complètement déconnectés les uns des autres ?

Je pense que si l'homme est doué de connaissance intellectuelle et capable de déchiffrer le code cosmique, c'est parce que la conscience n'est pas un heureux hasard de l'évolution cosmique. Elle a été « programmée » dans l'univers, tout comme celui-ci a été réglé de façon extrêmement précise, dès sa naissance, pour l'apparition de la vie. L'existence de la conscience n'est pas contingente mais nécessaire, car l'univers n'a de sens que s'il contient une conscience capable d'appréhender son organisation, sa beauté et son harmonie. L'apparition de la conscience n'est pas un simple accident de parcours dans la grande fresque cosmique, elle est le reflet d'une profonde connexion entre l'homme et le monde.

Si nous rejetons l'idée d'univers multiples et acceptons celle d'un univers unique, le nôtre, alors il me semble que nous devons parier, tel Pascal, sur l'existence d'un principe créateur responsable du réglage extrêmement précis de l'univers. Mais attention : pour moi, ce principe ne représente pas un Dieu barbu, mais un principe panthéiste qui se manifeste dans les lois de la nature. Ce principe s'apparente à celui décrit par Spinoza qu'Einstein a caractérisé ainsi : « Je crois au Dieu de Spinoza qui se révèle dans l'harmonie de tout ce qui existe, non en un Dieu concerné par le destin et les actions des hommes{40}. »

Principe créateur ou univers sans commencement ?

Mon pari pascalien d'un principe créateur est cependant contraire à l'optique bouddhiste qui n'admet pas l'idée d'un tel principe ou d'un Dieu « horloger » qui créerait ex nihilo l'univers. À cause du principe d'interdépendance, une entité qui ne dépendrait de rien ne pourrait passer de la non-existence à l'existence. Le bouddhisme considère aussi que les propriétés de l'univers n'ont pas besoin d'être réglées pour que la conscience émerge. Selon lui, les flots de conscience et l'univers matériel coexistent depuis toujours dans un univers sans commencement. Leur ajustement mutuel et leur interdépendance sont la condition même de leur coexistence. J'admets que le concept d'interdépendance offre une explication au réglage si précis de l'univers pour l'émergence de la vie et de la conscience. Il est néanmoins moins évident qu'il puisse répondre à la question existentielle de Leibniz : « Pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ? Car le rien est plus simple et plus facile que quelque chose. » J'ajouterais : pourquoi les lois physiques sont-elles ce qu'elles sont et non autres ? Ainsi nous pourrions très bien imaginer vivre dans un univers décrit uniquement par les lois de Newton. Pourtant, ce n'est pas le cas : ce sont les lois de la mécanique quantique et de la relativité qui rendent compte de l'univers connu.

Le point de vue bouddhiste soulève d'autres questions. S'il n'y a pas de principe créateur, l'univers ne peut être créé. Rien ne peut se manifester sans cause ni condition, autrement dit rien ne peut commencer à exister ou cesser d'exister. Le big bang ne serait plus une explosion primordiale, mais seulement le commencement d'un cycle particulier dans une succession sans début ni fin d'un nombre incalculable de cycles. Le seul univers scientifique compatible avec cette optique serait donc un univers cyclique, composé d'une série sans fin de big bangs et de *big crunches*. Cependant, le fait que l'univers va un jour s'effondrer sur lui-même reste loin d'être établi scientifiquement.

Dans la théorie standard du big bang, les observations astronomiques montrent que la quantité totale de matière lumineuse et noire dans l'univers n'est pas assez grande pour que sa gravité renverse l'expansion universelle et mène à un *big crunch*. Au contraire, une mystérieuse force répulsive due à une « énergie noire^{41} » continuera à diluer l'univers jusqu'à un temps infini, ce qui exclurait le concept d'univers cyclique et serait en désaccord avec l'idée

bouddhiste de non-début de l'univers. Mais des physiciens, se fondant sur la théorie des cordes (selon celle-ci, les particules élémentaires ne seraient plus des points sans extension spatiale mais des bouts de cordes infinitésimalement petits qui vibrent), ont proposé précisément un scénario cyclique pour l'univers, selon lequel le big bang ne serait qu'une étape dans un cycle infini de collisions titanesques entre notre univers et un univers parallèle^{42}. Quoi qu'il en soit, pour l'instant, ce scénario relève plus de la science-fiction que de la science, car la théorie des cordes n'a pas encore été vérifiée expérimentalement. Alors, début ou non-début de l'univers ? En tout cas, en tant que scientifique, je me rendrai au verdict de la science.

Flots de conscience ou paquets de neurones ?

Quant au concept de flots de conscience coexistant avec la matière dès les premières fractions de seconde du big bang, la science est encore très loin de pouvoir le valider. Certains neurobiologistes pensent qu'il n'est nul besoin de continuum de conscience coexistant avec la matière, que la première peut émerger de la seconde une fois que les réseaux de neurones du cerveau des êtres vivants ont dépassé un certain seuil de complexité. Le concept d'émergence est ainsi relié à la notion de complexité. Quand l'organisation de la matière devient assez complexe, des propriétés nouvelles émergent au niveau supérieur de l'organisme, qui n'étaient pas présentes au niveau inférieur des particules élémentaires. En d'autres termes, le tout est plus grand que la somme des parties. De ce point de vue, la vie a émergé de poussières d'étoiles inanimées quand l'organisation des cellules est devenue assez complexe, et la conscience a surgi du cortex quand les connexions neuronales ont franchi un certain cap de complexité. Dans cette optique, la conscience est issue, comme la vie elle-même, de la matière inanimée. Elle n'est que le résultat de courants électrochimiques circulant dans les circuits neuronaux. Cette position matérialiste est bien résumée par le fameux aphorisme du médecin français Pierre Cabanis au XVIII^e siècle « Le cerveau sécrète la pensée comme le foie sécrète la bile. »

Je préfère de loin la position bouddhiste selon laquelle l'esprit est distinct de la matière et non issu de celle-ci. Cette position ne rejoint pas pour autant le dualisme corps-esprit de Descartes. Pour le philosophe français, la réalité a deux formes distinctes : celle de l'esprit, qui est pure conscience, ne s'étend pas dans l'espace et ne peut être subdivisée ; celle de la matière, dépourvue de conscience, possède une étendue et peut être divisée. Pour le bouddhisme, l'esprit et la matière ne diffèrent que dans la « vérité conventionnelle » ; dans la « vérité ultime », ni l'un ni l'autre n'ont d'existence propre car tous deux sont interdépendants et participent de la même globalité. Je m'insurge contre une description purement matérialiste de l'esprit, parce que si l'homme n'est qu'un « paquet de neurones », pour utiliser l'expression du Prix Nobel de médecine 1962 Francis Crick^{43}, si la conscience n'est que le résultat d'événements neuronaux, qu'en est-il de mon libre arbitre ?

Le modèle de l'« homme neuronal^{44} » soutient que l'impression que j'ai de pouvoir choisir et de décider – ce que nous appelons

« libre arbitre » ou « responsabilité » – n'est que pure illusion. Prendre une décision n'est alors que le résultat du travail des neurones dans le cerveau, qui leur permet de définir la meilleure stratégie en tenant compte des stimuli extérieurs, de notre bagage génétique et de l'apprentissage acquis au cours de la vie. Quand les divers circuits neuronaux se synchronisent, j'ai l'impression d'avoir pris une décision et j'en éprouve un immense sentiment de soulagement et de plaisir. Selon ce schéma, je ne décide pas plus d'aller au cinéma, de sauver une personne en détresse ou de tuer quelqu'un que je ne contrôle les battements de mon cœur. La théorie de l'évolution et de la sélection naturelle de Charles Darwin est appelée à la rescousse pour expliquer cet étrange état de fait : si j'ai le sentiment d'être maître à bord, de prendre des décisions et d'avoir un libre arbitre, c'est que l'impression d'être aux commandes joue un rôle favorable dans l'adaptation de notre espèce au cours de son évolution. Cette thèse revient à dire que je ne suis qu'un automate qui se prend pour un être pensant, un robot auquel l'évolution aurait donné l'illusion de disposer d'un libre arbitre. Cette conscience dont je suis si fier ne serait qu'une simple fonction témoin, un voyant qui s'allume au bout d'une longue chaîne de processus électrochimiques dans mon cerveau. En somme, le libre arbitre n'existerait pas. Poussant ce genre de raisonnement jusqu'à sa conclusion logique – ce que les partisans de cette thèse ne font pas –, on pourrait dire que si le libre arbitre n'existe pas, les concepts de valeur, de responsabilité, de morale, de justice et d'éthique qui sont à la base des sociétés humaines et de la civilisation n'ont pas davantage lieu d'exister.

Ceux qui nient l'existence du libre arbitre se contredisent chaque fois qu'ils prétendent se conduire et s'exprimer en êtres indépendants. Le fait même que j'essaie de démontrer la réalité du libre arbitre n'est-il pas un argument en faveur de son existence ? Car comment quelque chose qui n'existe pas pourrait-il désirer prouver qu'il existe ? Comment des neurobiologistes et des philosophes sans libre arbitre seraient-ils amenés à nier l'existence de ce même libre arbitre ? Il est évident que la science est encore très loin de comprendre comment nous pensons, aimons et créons. Pour ma part, j'ai le plus grand mal à croire que nous ne soyons que des « machines à propager des gènes », pour reprendre l'expression du biologiste anglais Richard Dawkins^[45] ; que l'amour qui transfigure deux amants et enflamme leur cœur, que ce sentiment fulgurant qui a été chanté par les troubadours, qui a inspiré les plus grands poètes et les musiciens les plus sublimes, qui a été magnifié par les peintres les plus talentueux, qui a été à l'origine des plus grands sacrifices comme des actes les plus héroïques, mais qui a aussi déclenché les guerres les plus meurtrières, soit le résultat de courants électrochimiques circulant

dans des circuits neuronaux ! J'ai tout autant de mal à accepter l'idée que la tendresse d'une mère pour son enfant, la complicité qui unit un vieux couple au soir de sa vie, le sentiment de transcendance qui illumine l'existence humaine, l'extase face à la beauté, la répulsion devant la laideur, la joie et la tristesse, le chagrin et la pitié – que tout cela ne soit que le résultat de connexions neuronales dictées par les forces aveugles de l'évolution et de la sélection naturelles.

Alors, l'esprit n'est-il que matière ? De nouveau, je me rendrai au verdict des neurobiologistes, mais en l'état actuel de nos connaissances, je préfère de loin répondre que non.

La grande fresque cosmique de nos origines, source d'inspiration et de sagesse

Je l'ai dit plus haut, le savoir scientifique est incapable de nous indiquer comment mener notre vie, comment alléger nos souffrances et celles d'autrui. Il ne nous aide pas à prendre des décisions morales et éthiques. La science n'engendre pas directement la sagesse. Mais je pense qu'elle peut être une source d'inspiration pour nous permettre de regarder le monde autrement et d'agir de manière plus juste.

Savoir que nous sommes tous des poussières d'étoiles, que nous partageons la même histoire cosmique que les gazelles et les roses, que nous sommes tous connectés à travers l'espace et le temps, ne peut qu'induire une conscience aiguë de notre interdépendance. Celle-ci engendre à son tour la compassion, car nous nous rendons compte que le mur dressé par notre esprit entre « moi » et « autrui » est illusoire, et que notre bonheur dépend de celui des autres. La perspective cosmique et planétaire que nous offre la magnifique fresque historique de nos origines souligne aussi la vulnérabilité de notre planète et notre isolement parmi les étoiles. Elle nous fait prendre conscience du fait que les problèmes de l'environnement qui menacent notre havre, dans l'immensité cosmique, transcendent les barrières des origines ethniques, des cultures et des religions. Les poisons industriels, les déchets radioactifs et les gaz responsables de l'effet de serre nous affectent tous, par-delà les frontières nationales.

La diffusion de ce magnifique « tronc commun » de la connaissance pourrait susciter une mondialisation, non pas agressive – celle d'un peuple puissant exploitant économiquement et militairement d'autres peuples plus démunis –, mais pacifique. La mondialisation économique qui a fait que le monde entier soit interconnecté par un réseau de communication de plus en plus performant devrait favoriser une telle globalisation du savoir scientifique. Ce processus pacifique devrait permettre aux citoyens du monde entier de partager un horizon commun. Il tracerait un trait d'union et nouerait un dialogue entre les hommes des cultures les plus diverses. Il développerait en nous le sens d'une responsabilité universelle, et nous encouragerait à unir nos efforts pour résoudre les problèmes de la pauvreté, de la famine, de la maladie, entre autres fléaux qui menacent l'humanité. Il aboutirait à un humanisme universel, gage de paix.

Si la science nous apporte des informations inestimables, elle a

peu à voir avec notre progrès spirituel. De son côté, la spiritualité – le bouddhisme dans mon cas – a pour objectif notre transformation intérieure, et cela dans le but de penser et d’agir juste et de développer en nous le sentiment de compassion afin que nous puissions aider les autres.

Le but de la science est fondamentalement l’étude et l’interprétation des phénomènes, alors que pour le bouddhisme, l’approche contemplative doit provoquer en nous une transformation personnelle profonde en termes de perception du monde et d’action sur lui. Le contemplatif, en comprenant la vraie nature du monde physique, en réalisant que les objets n’ont pas d’existence intrinsèque et que leur nature est interdépendante, se détache d’eux, ce qui allège sa souffrance et lui permet de progresser sur la voie de l’Éveil. Pour sa part, le scientifique, parvenu à la même compréhension, se contente généralement de la considérer comme un progrès intellectuel stimulant, mais sans remettre en cause ni sa vision profonde du monde ni sa manière de vivre. La science a démontré qu’elle pouvait agir sur le monde, mais en soi elle ne peut guider l’utilisation qu’on en fait. Seule la spiritualité est à même de jouer ce rôle. Elle n’est pas un luxe, mais une nécessité.

La responsabilité du scientifique

Certains scientifiques estiment que leur travail ne consiste qu'à explorer et à découvrir, et que les applications de leurs découvertes ne sont pas du domaine de leur responsabilité. Je considère qu'une telle position relève de l'illusion, voire de l'aveuglement ou, pis, de la mauvaise foi. Le savoir confère du pouvoir et le pouvoir exige le sens des responsabilités, le sentiment d'être comptable des conséquences directes ou indirectes de ses actes. Trop souvent, des recherches scientifiques menées avec d'excellentes intentions (ce qui n'est pas toujours le cas) sont utilisées par les politiciens, les militaires et les hommes d'affaires à des fins douteuses. Le chercheur ne peut pas jouer la politique de l'autruche et feindre d'ignorer cette interpénétration inévitable de la science, du pouvoir et de l'économie.

Le problème de la responsabilité du scientifique s'est posé de façon dramatique au cours de la Seconde Guerre mondiale, lors du projet « Manhattan » visant à fabriquer la première bombe atomique. La communauté scientifique pensait que Hitler possédait déjà les moyens d'en construire une, il fallait donc le prendre de vitesse. Les meilleurs physiciens que comptaient les pays alliés se sont alors rassemblés dans un laboratoire top secret à Los Alamos, dans le désert du Nouveau-Mexique, pour construire la bombe A, sous la direction du physicien américain Robert Oppenheimer. Le premier essai eut lieu à l'aube d'un matin de juillet 1945 à Alamogordo, et en entendant la fantastique déflagration et en voyant le nuage noir en forme de champignon s'élever dans le ciel, Oppenheimer sut que le monde ne serait plus jamais le même. Deux vers de la *Bhagavad-Gita* lui traversèrent l'esprit :

« Je suis devenu la mort,

Je me suis transformé en destructeur des mondes. »

Prémonition qui ne se révéla malheureusement que trop juste quand, sur l'ordre du président américain Harry Truman, deux bombes furent lâchées trois semaines plus tard, les 6 et 9 août 1945, sur les villes d'Hiroshima et de Nagasaki, les rasant entièrement et tuant plus de la moitié de leurs populations – deux cent mille personnes à Hiroshima et cent quarante mille à Nagasaki.

Le génie s'était échappé de la bouteille et il fallait l'y ramener à tout prix. Nombre de physiciens commencèrent à militer avec passion

pour le contrôle international de l'énergie atomique. Oppenheimer refusa dans les années 1950 de participer à la construction d'une bombe encore plus puissante, la bombe H (celle-ci dérive son énergie de la fusion de l'hydrogène, tandis que la bombe A tire la sienne de la fission de l'uranium et du plutonium). L'Amérique était alors en plein maccarthysme, au cœur d'une paranoïa anticommuniste exacerbée. Le physicien américain Edward Teller, réfugié hongrois traumatisé par le communisme soviétique, se ligua avec le sénateur McCarthy pour taxer Oppenheimer d'activités procommunistes. Ce dernier ne se remit jamais de cette accusation injuste et sa carrière en souffrit. J'ai toujours eu beaucoup de sympathie pour les vues de cet homme, figure tragique de l'histoire des relations entre science et politique.

Quant à Edward Teller – qui m'évoque le docteur Folamour du cinéaste Stanley Kubrick –, il s'est de nouveau manifesté en 1983 comme conseiller scientifique du président Ronald Reagan sur le programme américain de défense stratégique baptisé « Guerre des étoiles » – d'après le titre de la très populaire épopée cinématographique de George Lucas. L'idée était de construire un « bouclier » qui protégerait les Etats-Unis d'une attaque éventuelle de l'Union soviétique par des missiles nucléaires intercontinentaux. Il consisterait en des projectiles intercepteurs et des lasers très puissants, installés sur Terre ou dans l'espace, qui pulvériseraient les missiles soviétiques avant que ceux-ci n'atteignent leur destination. Du point de vue technique, je n'ai jamais pensé qu'un tel bouclier pût être construit. Et c'est aussi l'avis des experts : il eût fallu un niveau d'informatique et de puissance de laser que la technique du moment était encore très loin de pouvoir fournir. Et puis, en supposant même que nous possédions un jour la technique, comment tester un tel système ? Quoi qu'il en soit, la chute du mur de Berlin en 1989, l'effondrement de l'Union soviétique et la fin de la guerre froide en 1991 ont rendu le projet caduc.

À l'inverse de Teller, je pense qu'il est inexcusable qu'un scientifique travaille en toute connaissance de cause au développement d'instruments de destruction massive et de mort. J'ai été très choqué d'apprendre que certains grands scientifiques américains, comptant parmi eux des lauréats du prix Nobel, avaient participé pendant la guerre du Vietnam aux travaux de la « division Jason », un comité d'experts constitué par le Pentagone dans le but de développer des techniques de guerre et de nouvelles armes. J'étais révolté à l'idée que ces têtes pensantes des départements de science des universités américaines puissent se rassembler plusieurs mois chaque année afin de concevoir des armements dont ils savaient pertinemment qu'ils allaient être utilisés pour tuer.

La créativité scientifique doit-elle être contrôlée ?

J'ai la chance de pouvoir travailler dans un domaine de recherche fondamentale, où la connaissance est acquise pour la gloire de l'esprit humain, et non dans un but utilitaire. Bien heureusement, les militaires n'ont pas encore trouvé d'applications guerrières avec le big bang ou les trous noirs ! Mais il est des études scientifiques qui ont des conséquences immédiates et graves sur l'humanité, où le chercheur est confronté à de nombreux problèmes d'ordre moral et éthique autrement plus urgents et qui ne pourront que prendre de plus en plus d'ampleur avec le temps : la prolifération nucléaire, la destruction de l'environnement, le clonage, les manipulations génétiques et peut-être la sélection de certains types d'êtres humains.

Faut-il pour autant contrôler la recherche ? Je ne le pense pas. Je crois fermement en la liberté de chercher. L'imagination doit être débridée, sinon elle s'étirole. La créativité doit pouvoir se manifester sans contrainte, sinon elle meurt. On a vu les effets désastreux que des régimes totalitaires, en Chine ou dans l'ex-Union soviétique par exemple, peuvent avoir sur les activités scientifiques. L'affaire Lyssenko, dans l'ex-Union soviétique, en est un exemple frappant. Parce qu'il pouvait, avec le soutien de Staline et du parti communiste, museler toute opposition, le scientifique Trofim Lyssenko put imposer de 1932 à 1964, sans aucune preuve expérimentale, l'idée que les gènes n'existaient pas, retardant ainsi de plusieurs décennies les progrès de la biologie et de la génétique soviétiques et causant des famines catastrophiques dues à l'échec de ses méthodes dans le domaine de l'agriculture. Je ne suis donc pas en faveur d'un contrôle a priori de la recherche. Si, à cause des dangers potentiels de certaines recherches scientifiques, nous interdisons de chercher, nous risquons de passer à côté des innombrables bienfaits qu'elles sont susceptibles de nous apporter. En général, en recherche fondamentale, nous ne pouvons jamais prédire ce que telle ou telle découverte peut avoir comme conséquence. Le physicien écossais James Maxwell serait bien étonné de savoir que si tous les gadgets électroniques qui font notre confort matériel aujourd'hui fonctionnent, c'est grâce à ses lois de l'électromagnétisme établies au XIX^e siècle : ampoule électrique, fax, GPS, radio, télévision, Internet, téléphone portable, Wifi, etc. Le physicien français Sadi Carnot, en s'adonnant à ses chères études en thermodynamique, était à mille lieues de penser qu'elles mèneraient à l'une des inventions les plus importantes du monde contemporain :

celle de l'automobile.

Cela dit, le contrôle a posteriori est absolument nécessaire. Dès que le scientifique perçoit une application potentiellement dangereuse, il est de son devoir d'assumer ses responsabilités, de dialoguer avec les dirigeants et d'alerter l'opinion publique. Idéalement, cette régularisation devrait être accomplie à la fois par les scientifiques et par un public bien informé faisant pression sur les politiques. La formation de comités d'éthique, composés de grands scientifiques de tous bords, représentant tous les points de vue, autant que de théologiens ou de philosophes, est nécessaire. Mais le public doit être présent aussi pour faire contrepoids aux décisions des politiques. L'apparition de concepts scientifiques et de technologies de plus en plus complexes et difficiles à maîtriser constitue un risque inquiétant : la domination d'une petite caste de gens qui seraient les seuls à avoir accès au savoir et donc à détenir le pouvoir. Pour qu'il ait son mot à dire, le public doit être bien informé, sous peine d'être manipulé par les médias, ou par des démagogues trop habiles, à des fins de basse politique. C'est pourquoi, comme je m'en suis expliqué plus haut, je considère que l'un des devoirs sacrés du scientifique est de vulgariser ses découvertes, de communiquer son savoir au public, et de l'alerter sur des applications potentiellement dangereuses.

Toutefois, certains savants ne mettent pas en doute le bien-fondé de leurs recherches dont les détournements sont pourtant prévisibles. Souvent, ce n'est qu'une fois le mal accompli qu'ils sont pris de remords, comme ce fut le cas pour les pères de la bombe atomique. D'autres ne se retranchent même pas derrière la neutralité présumée de la recherche fondamentale et collaborent par exemple sciemment à la mise au point d'armes bactériologiques. D'autres encore se livrent, sans manifester aucun état d'âme apparent, à des expériences sur la personne humaine. Ainsi, entre 1936 et 1976, le gouvernement suédois a fait stériliser soixante mille personnes jugées « inférieures ». Entre 1932 et 1972, quatre cents Américains de l'État d'Alabama, tous pauvres et noirs, ont été utilisés à leur insu comme cobayes par le Public Health Service (Service de santé publique) afin d'étudier l'évolution à long terme de la syphilis. Ce n'est qu'en 1997 que le président Clinton a présenté ses excuses au nom du peuple américain.

Dans certains domaines scientifiques, les applications sont immédiates et un contrôle a posteriori se révèle insuffisant. Ainsi, les progrès spectaculaires de la biologie moderne posent de graves problèmes éthiques et moraux. Le séquençage complet du génome humain a été terminé en 2001. Déjà, les chercheurs ont appris à identifier les gènes responsables de certaines maladies héréditaires, à repérer les familles à risque, et à « bricoler » les gènes, selon l'expression du biologiste français François Jacob, pour réparer

certaines défaillances. On sait désormais modifier les gènes de façon à choisir le sexe, la taille, la couleur des yeux ou des cheveux de l'enfant à naître. Ce bricolage génétique risque de déraper et, entre de mauvaises mains, peut faire réapparaître les thèses eugénistes nazies ou marxistes : hiérarchie des « races », préservation des élites, élimination des « déviants et inférieurs ». En témoigne du reste l'histoire des « bébés Nobel » : au début des années 1980, en Californie, des femmes au quotient intellectuel exceptionnel ont été fécondées par le sperme de récipiendaires du prix Nobel déposé dans une banque afin de faire naître des jeunes ultraperformants. Cette idée reposait sur la thèse selon laquelle l'intelligence serait transmise héréditairement, ce qui n'a jamais été démontré scientifiquement. L'homme possède aujourd'hui le pouvoir de cloner des animaux (nous avons tous en mémoire le premier clonage réussi d'un mammifère, celui de la brebis Dolly en 1997), et certains chercheurs travaillent déjà sur le clonage d'êtres humains. Faut-il bannir tout clonage humain ou peut-on l'autoriser sous certaines conditions ?

Face à de tels problèmes éthiques et moraux, le scientifique a le devoir de ne pas oublier son humanité. Pour moi, une démarche spirituelle non dogmatique, comme celle du bouddhisme, est essentielle. La spiritualité m'aide à fonder une éthique. Pour un bouddhiste, le bien et le mal n'existent pas en soi. Il n'y a de bien et de mal qu'en termes de bonheur et de souffrance causés à soi-même ou à autrui. Si je réussis à faire naître en moi une attitude altruiste telle que je sois viscéralement concerné par le bien des autres, cet altruisme devient le plus sûr guide de mon jugement. Confronté à la vie de tous les jours, et en particulier à mon travail scientifique, j'aurai alors beaucoup plus de facilité à évaluer quels sont les décisions et actes qui créeront davantage de bonheur et soulageront davantage de souffrance. Il faut bien comprendre que je parle ici d'une expérience vécue et directe, non de théories ou de préceptes moraux. Cette expérience exige une attention constante aux pensées qui me motivent. Le bouddhisme compare l'esprit à un cristal qui prend la couleur de l'endroit où on le pose. Il est neutre, et ce sont nos intentions qui déterminent le caractère véritable de nos actes. Je formulerais mon critère de choix entre ce que je dois faire et ce que je dois éviter par : Le respect de l'humanité et de son écosphère à tout prix.

Savoir ne suffit pas pour appréhender le réel

L'effort spirituel doit aboutir à une transformation profonde de notre manière de percevoir le monde et d'agir sur lui. Il ne suffit pas de *savoir*, comme dans le cas d'un physicien quantique, qu'il existe une interdépendance entre l'observateur et l'observé, que notre conscience ne peut être isolée de la réalité globale du monde des phénomènes, encore faut-il reconnaître par *L'expérience personnelle* que notre conscience fait partie de cette globalité. Notre esprit doit assimiler les implications de cette découverte, et notre vie doit s'en trouver transformée. Le pratiquant accompli du bouddhisme sait que la réalisation vécue de l'interdépendance se traduit par une compassion irrésistible envers tous les êtres – une compassion qui modifie son existence jusque dans sa fibre la plus intime. Passer ainsi d'une connaissance théorique, qui risque de n'avoir que des effets virtuels, à l'expérience directe est la clé de l'éthique.

Lorsque l'éthique est le reflet de nos qualités intérieures et guide notre comportement, elle s'exprime naturellement dans nos pensées, nos paroles et nos actes, et devient source d'inspiration pour les autres. L'éthique est donc fondée sur une adéquation profonde entre la théorie et le vécu. Comment arriver à une telle adéquation ? De façon graduelle. Nous commençons par l'écoute et l'étude, nous poursuivons par la réflexion intellectuelle pour culminer dans l'intégration en notre être, grâce à la méditation, d'une nouvelle perception des choses et d'un nouveau comportement. Méditer veut dire, en l'occurrence, se familiariser avec cette nouvelle perception du monde. De la compréhension naît la méditation, laquelle s'exprime en actes. On passe ainsi sans discontinuité de la connaissance à la réalisation intérieure, puis à l'éthique vécue.

Notre société produit peu de sages. Elle crée certes des comités d'éthique constitués de grands penseurs, mais en Occident, les critères de sélection des membres des « comités de sages » reposent surtout sur leurs réalisations professionnelles, au détriment des qualités humaines. Or il est clair qu'un véritable sage doit l'être à la fois par l'esprit et par le cœur.

Les Grecs pensaient que la raison était toute-puissante, qu'elle pouvait résoudre tous les problèmes et appréhender tous les phénomènes. Mais la science, à mesure qu'elle progresse, s'est rendu compte que la raison ne peut pas, dans certains cas, aller au bout du chemin. La mécanique quantique et la théorie du chaos ont introduit

dans la science les notions d'incertitude, d'indétermination et d'imprédictibilité. Plus encore, le mathématicien Kurt Gödel a démontré en 1931 un théorème – connu aujourd'hui sous son nom – qui fait de l'incomplétude une affaire de logique.

Ce célèbre théorème contient le résultat suivant, qui est peut-être le plus extraordinaire et le plus mystérieux de toutes les mathématiques : un système d'arithmétique cohérent et non contradictoire contient toujours des propositions « indécidables », c'est-à-dire des énoncés mathématiques dont on ne peut jamais dire par le seul raisonnement logique s'ils sont vrais ou faux. D'autre part, on ne peut pas démontrer qu'un système est cohérent et non contradictoire sur la seule base des axiomes qu'il contient ; pour ce faire, il faut sortir du système et imposer un ou des axiomes supplémentaires qui lui sont extérieurs. Ce qui veut dire que le système est incomplet en soi. Voilà pourquoi le théorème de Gödel est souvent aussi appelé « théorème d'incomplétude ».

Bien que Gödel n'ait abouti à ce résultat que pour un système d'arithmétique, les conséquences de ce coup de tonnerre dans le ciel serein des mathématiques ont été énormes. Bien au-delà du domaine des mathématiques, elles portent aujourd'hui encore sur des domaines de la pensée aussi divers que la philosophie ou l'informatique : en philosophie, parce que ce théorème montre que le pouvoir de la pensée rationnelle n'est pas sans limites ; en informatique, parce qu'il révèle l'existence de problèmes de mathématiques qui ne pourront jamais être résolus par un ordinateur. Le théorème de Gödel implique qu'il existe toujours une limite à notre connaissance d'un système donné, car nous faisons nous-mêmes partie de ce système. Pour aller au-delà de cette limite, il nous faudrait en sortir. C'est à ce titre qu'à mon sens nous devons faire appel à d'autres sources de connaissance quand il s'agit de morale et d'éthique. Je pense que la spiritualité (et le bouddhisme en particulier) a un rôle à jouer là où les limites de la science laissent un vide à combler, un vide qui touche à la transformation personnelle et à la connaissance de notre esprit. La spiritualité donne sur le réel une vue que la science est incapable de dispenser, parce que celle-ci est incomplète au sens du théorème de Gödel.

Mais attention ! Il ne faut pas penser pour autant que la logique de la science serait devenue floue, relative et qualitative. Il y a des lois physiques qui gouvernent le chaos autant que l'indétermination. Le principe d'incertitude de Heisenberg selon lequel on ne peut jamais connaître à la fois la vitesse et la position d'une particule a une forme mathématique bien définie. Tout comme ce sont les mathématiques qui ont servi à Gödel à prouver qu'on ne peut pas démontrer certaines propositions dans un système d'arithmétique (c'est ce qu'on appelle la

« méta-mathématique »). Tout ici reste quantitatif, rien ne devient qualitatif, il n'en demeure pas moins que nous devons accepter qu'il existe fondamentalement une part d'incertitude et de chaos dans la nature.

La science ressort-elle affaiblie de son contact avec les notions d'incertitude, d'indétermination, d'imprédictibilité, d'incomplétude et d'indécidabilité ? Vacille-t-elle parce qu'elle sait désormais qu'elle ne peut pas tout savoir ? Je ne le pense pas. Je trouve au contraire que la science s'en trouve renforcée. Le chaos et l'indétermination permettent à la nature de s'abandonner à un jeu plus créatif, de produire du nouveau non contenu implicitement dans ses états précédents, d'échapper à un déterminisme rigide et stérile. Pour reprendre l'exemple du jazzman qui innove en improvisant autour d'un thème donné, la nature se montre spontanée et ludique en jouant avec les lois naturelles pour créer de la nouveauté. Le livre de la nature n'est pas écrit une fois pour toutes, il s'élabore au fur et à mesure.

La science me laisse libre

Ainsi, les deux camps qui s'affrontaient jusqu'à présent, matérialistes et spiritualistes, ne pourront plus s'exclure s'ils sont cohérents et de bonne foi, car le principe d'incomplétude leur interdit de prétendre détenir chacun toute la vérité. C'est pourquoi je pense que reconnaître la complémentarité des approches scientifique et spirituelle est extrêmement important. Je suis persuadé que la science est loin d'être la seule fenêtre qui nous permette d'accéder au réel. Il serait prétentieux, de la part d'un scientifique, d'affirmer le contraire. La spiritualité, au même titre que la poésie ou l'art, en constitue une autre, complémentaire de la science, pour contempler le monde. Jamais la science ne pourra aller seule jusqu'au bout du chemin. Il nous faut donc faire appel à d'autres modes de connaissance, comme l'intuition mystique ou religieuse (que le bouddhisme appelle « Éveil »), l'art ou la poésie, pour nous rapprocher de la réalité ultime. *Les Nymphéas* de Monet ou les poèmes de Rimbaud ne nous éclairent-ils pas autant sur le réel que la physique des particules ou la théorie du big bang ?

Je dois reconnaître que ce point de vue est plutôt minoritaire dans le monde scientifique. La majorité de mes collègues ne se posent guère de questions spirituelles, ou en tout cas n'en parlent pas ouvertement. D'autres dressent une cloison étanche entre science et spiritualité. S'ils travaillent à leur science pendant la semaine et vont à l'église le week-end, il ne leur viendra jamais à l'esprit de mettre en regard les deux démarches. D'autres encore n'ont que faire de la spiritualité. Le Prix Nobel de physique américain Steven Weinberg pense que les religions sont à l'origine de bien des maux dans le monde. Il écrit de manière résolument provocante : « Avec ou sans religion, les êtres bons se conduiront bien et ceux qui sont mauvais, mal. Un des grands accomplissements de la science a été, sinon de rendre impossible pour les gens intelligents le fait d'être croyants, tout au moins de leur permettre de ne pas être croyants^{46}. » Et de citer les croisades, les pogroms et autres djihads. Mais c'est oublier tout le mal que la « science sans conscience » dont parlait Rabelais a également pu causer à l'humanité et à son écosphère. Ensuite, la religion dont Weinberg parle est une des versions déformées de la spiritualité : les gens qui participaient aux guerres de Religion ne pouvaient assurément être mus par le sentiment de compassion envers autrui qui est à la base de toute tradition spirituelle.

Les relations entre science et spiritualité n'ont sans doute pas fini de soulever bien des débats. Pour ma part, même si la spiritualité m'aide à mieux vivre et à mieux interagir avec ceux qui m'entourent, et si, en vivant mieux, je fais mieux mon travail de chercheur, aucun a priori philosophique n'influe directement sur celui-ci. Mon principal sujet de recherche est la formation et l'évolution des galaxies, celles des galaxies naines en particulier, et ce n'est pas le fait de parier ou non sur un principe créateur qui peut affecter mes découvertes. Ma démarche spirituelle intervient sur de tout autres plans.

Plus que jamais, la science me laisse libre.

DU MÊME AUTEUR

Le monde s'est-il créé tout seul ?

Entretiens avec Patrice Van Eersel (collectif)
Albin Michel, 2008 ; Le Livre de poche, 2010

Dictionnaire amoureux du ciel et des étoiles

Plon/Fayard, 2009

Voyage au cœur de la lumière Gallimard,

« Découvertes », 2008

Les Voies de la lumière : physique et métaphysique du clair-obscur

Fayard, 2007 ; Gallimard, « Folio essais », 2008

Origines : la nostalgie des commencements

Fayard, 2003 ;

Gallimard, « Folio essais », 2006

L'Arpenteur du cosmos

Entretiens avec Edmond Blattchen Alice, 2001

*L'Infini dans la paume de la main : du big bang à l'Eveil (avec
Matthieu Ricard)*

Fayard/Nil, 2000 ; Pocket, 2002

Le Chaos et l'Harmonie : la fabrication du réel

Fayard, 1998 ; Gallimard, « Folio essais », 2000

Trinh Xuan Thuan, un astrophysicien

Entretien avec Jacques Vauthier

Fayard, 1992 ; Flammarion, « Champs », 1995

Le Destin de l'univers : le big bang, et après

Gallimard, « Découvertes », 1992, 2008

Quelle science pour demain ? (collectif)

Ganymède, 1991

La Mélodie secrète : et l'homme créa l'univers
Fayard, 1988 ; Gallimard, « Folio essais », 1991

{1} Anne Cheng, *Les Entretiens de Confucius*, Le Seuil, 1981.

{2} Albert Einstein, *Comment je vois le monde*, traduit par Régis Hanrion, Champs Flammarion, 2009.

{3} Richard Feynman, Robert Leighton, Matthew Sands, *Le Cours de physique de Feynman*, 3 t., traduit par Michel Bloch, Dunod, 1999.

{4} Hannes Alfvén, *La Recherche*, n° 69, 1976.

{5} TrinhXuan Thuan, *La Mélodie secrète*, Fayard, 1988 ; Gallimard, « Folio essais », 1991.

{6} Jacques Monod, *Le Hasard et la Nécessité*, Le Seuil, 1970.

{7} Pour un traitement plus développé de la physique et de la métaphysique de la lumière, voir mon ouvrage *Les Voies de la lumière*, Fayard, 2007 ; Gallimard, « Folio essais », 2008.

{8} Henri Poincaré, *Science et méthode*, Flammarion, 1908.

{9} Charles Darwin, *L'Origine des espèces*, Garnier-Flammarion, 2008.

{10} Eugene P. Wigner, «The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences », *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 13 (1960) : 1-14.

{11} René Descartes, *Méditations métaphysiques*, Gallimard, « Bibliothèque de la Pléiade », 1970.

{12} Roger Penrose, *L'Esprit, l'Ordinateur et les Lois de la physique*, traduit par Françoise Balibar et Claudine Tiercelin, Inter Éditions, 1992.

{13} Ibid

{14} Cité in Jacques Hadamard, Essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathématique, Gauthier-Villars, 1975.

{15} Ibid.

{16} Niels Bohr, *Physique atomique et connaissance humaine*, traduit par Edmond Bauer et Roland Omnès, Gallimard, 1991.

{17} Albert Einstein et Léopold Infeld, *L'Évolution des idées en physique*, traduit par Maurice Solovine, Flammarion, 2009.

{18} Alan Sokal, « Transgressing the Boundaries : Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity », *Social Text*, n° 46-47, p. 217, 1996. Traduit par mes soins.

{19} Thomas Kuhn, *La Structure des révolutions scientifiques*, traduit par Laure Meyer, Flammarion, 2008.

{20} Henri Poincaré, Science et méthode, op. cit.

{21} Werner Heisenberg, lettre à Albert Einstein, cité in Ian Stewart, *Why Beauty is Truth : a History of Symmetry*, Basic Books, 2008.

{22} Werner Heisenberg, lettre à Albert Einstein, cité in Ian Stewart, *Why Beauty is Truth*, op. cit.

{23} Pierre Simon de Laplace, Essai philosophique sur les probabilités, *Courcier*, 1814.

{24} Henri Poincaré, Science et méthode, op. cit.

{25} Pour une discussion plus développée sur la théorie du chaos, voir mon ouvrage *Le Chaos et l'Harmonie: la fabrication du réel*, Fayard, 1998 ; Gallimard, « Folio essais », 2000.

{26} The Complete Poems of John Keats, *Modern Library*, 1994.

{27} Walt Whitman, *Feuilles d'herbe*, traduit par Jacques Darras, Gallimard, 2002.

{28} Cité in Marco Bersanelli et Mario Gargantini, From Galileo to Gell-Mann : The Wonder that Inspired the Greatest Scientists of All Time, *Templeton Press*, 2009. Traduit par mes soins.

{29} Ibid.

{30} Matthieu Ricard et Trinh Xuan Thuan, *L'Infini dans la paume de la main : du big bang à l'Éveil*, NiL/Fayard, 2000 ; Pocket, 2002.

{31} Werner Heisenberg, *A cross the Frontiers*, Harper and Row, 1974, chap. 3, « Wolfgang Pauli's Philosophical Outlook ».

{32} Voir une description détaillée du chat de Schrödinger dans mon ouvrage *La Mélodie secrète*, op. cit., p. 291.

{33} William Blake, *Auguries of Innocence*, in *Complete Writings of William Blake*, Oxford University Press, 1985. Traduit par mes soins.

{34} Niels Bohr, *Atomic Theory and the Description of Nature*, Woodbridge, Conn. : Ox Bow Press, 1987. Traduit par mes soins.

{35} Blaise Pascal, *Pensées*, Hachette, 1921.

{36} Jacques Monod, *Le Hasard et la Nécessité*, op. cit.

{37} Steven Weinberg, *Les Trois Premières Minutes de l'Univers*, traduit par Jean-Benoît Yelnik, Le Seuil, 1978.

{38} Freeman J. Dyson, *Les Dérangeurs de l'univers*,

traduit par Odile Laversanne, Payot, 1987.

Les énoncés des versions « forte » et « faible » du principe anthropiques sont dus à Brandon Carter dans *Confrontation of Cosmological Theories with Observation*, éd. M. S. Longair, Reidel (Dordrecht), 1974

{40} Réponse d'Einstein à un télégramme qu'un rabbin de New York lui avait adressé, contenant le message suivant: «Croyez-vous en Dieu ? Veuillez répondre en moins de 50 mots. Réponse payée. »

{41} Les concepts de big bang, de *big crunch* et d'énergie noire sont discutés plus en détail dans mon *Dictionnaire amoureux du ciel et des étoiles*, Plon/Fayard, 2009.

{42} P. J. Steinhardt et N. Turok, *Endless Universe: Beyond the Big Bang*, Doubleday, 2007.

{43} *Francis Crick*, The Astonishing Hypothesis : The Scientific Search for the Soul, *Scribner*, 1994.

{44} Jean-Pierre Changeux, *L'Homme neuronal*, Fayard, 1983.

{45} Richard Dawkins, *Le Gène égoïste*, traduit par Laura Ovion, Armand Colin, 1990.

{46} Steven Weinberg, *The New York Review of Books*, 21 octobre 1999. Traduit par mes soins.